

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

ОСНОВИ ФІЗИКИ АТМОСФЕРИ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Навчальний посібник

Рекомендовано науково-методичною радою Київського національного університету будівництва і архітектури як навчальний посібник для студентів спеціальностей «Екологія та охорона навколишнього середовища» та «Теплогазопостачання і вентиляція»

Київ 2014

УДК 53(075)

ББК 22.3я7

Ф50

Рекомендовано науково-методичною радою Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 6 від 25 лютого 2014 року.

Автори-укладачі: В.І. Клапченко, канд. техн. наук, доцент

Г.Д. Потапенко, канд. фіз.-мат. наук, доцент

І.О. Азнаурян, доцент

Г.В. Кучерова, асистент

Рецензенти *Л.Ю. Благодаренко*, д-р пед. Наук, професор кафедри загальної та прикладної фізики Національного педагогічного університету ім. М.П. Драгоманова
О.С. Волошкіна, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри охорони праці і навколишнього середовища, декан санітарно-технічного факультету Київського національного університету будівництва та архітектури
В.А. Глива, д-р техн. наук, професор кафедри безпеки життєдіяльності Національного авіаційного університету.

Фізика: Основи фізики атмосфери та навколишнього середовища
Ф 50 навчальний посібник: /В.І. Клапченко та ін. – К.: КНУБА, 2014.–128с.

Містить програми, основні теоретичні відомості, завдання для практичних та індивідуальних занять, лабораторний практикум до спецкурсів, приклади розв'язування задач, вимоги до оформлення робіт та довідковий матеріал.

Призначено для студентів спеціальностей 60708110 «Екологія та охорона навколишнього середовища» та 606010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»

УДК: 53(075)

ББК 22.3я7

© В.І. Клапченко, Г.Д. Потапенко
І.О. Азнаурян, Г.В. Кучерова, 2014
© КНУБА, 2014

ЗМІСТ

<i>Передмова</i>	4
<i>Вступ</i>	
<i>Робочі програми спецкурсів</i>	5
<i>Як навчитись розв'язувати задачі з фізики?</i>	10
<i>Правила оформлення індивідуальних завдань</i>	15
<i>Розділ 1. Зміст практикумів «Основи фізики навколишнього середовища» та «Фізико-хімічні властивості атмосфери»</i>	17
<i>Тема 1. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова Всесвіту. Рух тіл в інерціальних системах відліку</i>	18
<i>Задачі до теми 1</i>	
<i>Тема 2. Фізика Сонця</i>	24
<i>Тема 3. Фізика атмосфери</i>	30
<i>Тема 4. Фази і фазові переходи. Вологість повітря</i>	36
<i>Тема 5. Явища, які протікають на межі поділу фаз</i>	41
<i>Тема 6. Гідродинаміка</i>	46
<i>Розділ 2. Приклади розв'язання задач</i>	54
<i>Розділ 3. Лабораторний практикум</i>	63
<i>Зміст лабораторних робіт</i>	
<i>Список літератури</i>	107
<i>Додатки</i>	109

Передмова

Охорона довкілля і раціональне використання природних ресурсів - одна із найважливіших проблем сучасності. Її вирішення безпосередньо пов'язане з підготовкою фахівців із питань охорони навколишнього середовища та вихованням у молодого покоління дбайливого ставлення до природи.

Спецкурс «Основи фізики атмосфери та навколишнього середовища» викладається для студентів спеціальності «Екологія та охорона навколишнього» на третьому курсі і складається з лекційного курсу і спецпрактикуму. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить для денної форми навчання – 40/32.

Спецкурс «Основи фізики навколишнього середовища» має такий розподіл годин:

1. Лекційний курс	22 год.
2. Спецпрактикум	18 год.
3. Самостійна робота	32 год.

Спецкурс “Основи фізики навколишнього середовища” закінчується заліком. Лекційний курс побудований згідно з програмою, яка затверджена кафедрою фізики. Лабораторний практикум закінчується захистом лабораторних робіт. Самостійна робота вимагає виконання індивідуальної роботи, що складається із задач, які охоплюють всі теми лекційного курсу.

Спецкурс «Фізико-хімічні властивості атмосфери» викладається для студентів спеціальності «Теплогазопостачання і вентиляція» на четвертому курсі і складається з лекційного курсу, практичних занять та спецпрактикуму. Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної і індивідуальної роботи становить для денної форми навчання – 20/28.

Спецкурс «Фізико-хімічні властивості атмосфери» має такий розподіл годин:

1. Лекційний курс	8 год.
2. Практичні заняття	6 год.
2. Спецпрактикум	6 год.
3. Самостійна робота	28 год.

Спецкурс “Фізико-хімічні властивості атмосфери” закінчується заліком. Лекційний курс побудований згідно з програмою, яка затверджена кафедрою фізики. Спецпрактикум закінчується захистом лабораторних робіт. Самостійна робота вимагає виконання індивідуальної роботи, що складається з задач, які охоплюють всі теми лекційного курсу.

Вступ

Мета посібника – допомога студентам під час підготовки практичних занять, виконання індивідуальних завдань та лабораторних робіт зі спецкурсів.

Робочі програми спецкурсів

Програма спецкурсу “Основи фізики навколишнього середовища”

1. Вступ. Значення курсу “Основи фізики навколишнього середовища”. Його зв’язок з профільюючими загальними курсами. Науково-методологічні принципи побудови вивчення курсу “Основи фізики навколишнього середовища”. Екологія, техніка і фізика.

2. Геофізичне положення Землі у Всесвіті та Сонячній системі.

2.1 Земля в Сонячній системі. Закони Кеплера. Елементи орбіт. Космос навколо нашої планети. Зв’язок між фізичними параметрами системи Земля – Сонце та кліматичними умовами.

2.2. Орбіта, орієнтація осі, річне обертання Землі, добове обертання. Прояви поворотних (коріолісових) сил інерції.

3. Фізика Сонця

3.1. Рівновісне теплове випромінювання. Закони теплового випромінювання. Хвильове випромінювання Сонця. Корпускулярне випромінювання Сонця. Сонячне випромінювання як частина космічного випромінювання. Каскадне утворення електронно-позитронних пар в космічних променях. Втрати енергії електронами та гальмівне випромінювання. μ -мезони. π -мезони. Залежність часу життя нестійких частинок від швидкості руху. Вибухові ядерні лавини і їх каскадний розвиток в космічних променях.

3.2. Корпускулярний і енергетичний спектр космічних променів. Походження космічного випромінювання.

3.3. Ядерні реакції. Енергетичний ефект. Енергія збудження і поріг ядерних реакцій. (Перетворення елементарних частинок. Ядерні сили. Енергія зв’язку ядер і енергія зв’язку нуклонів. Взаємозв’язок енергії і будова ядер. Внутрішньоядерний рух нуклонів і нуклонні оболонки. Спіни і магнітні моменти ядер). Вихід продуктів ядерної реакції. Резонансні явища. Ланцюговий поділ ядер. Термоядерні реакції – реакції ядерного синтезу.

Плазма. Мас-спектральний аналіз. Активні області Сонця. Сонячний вітер. Цикли сонячної активності. Сонячна активність і положення планет.

4. Фізика атмосфери Землі

4.1. Атмосфера і її склад. Зміни фізичних параметрів атмосфери (тиску, температури, складу повітря) залежно від висоти. Атмосферні потоки, мусони, пасати. Вплив водних просторів на життя на Землі. “Метеоритні сліди”. Фазові перетворення води в атмосфері – випаровування, конденсація, зледеніння. Іоносфера Землі. Магнітне поле Землі. Іоносфера Землі і її радіаційні пояси. Закони Кулона для магнітних поясів. Рух заряджених частинок у магнітному полі Землі.

4.2. Струм в газах. Іонізація і електропровідність газів. Типи і механізми розряду в газах. Блискавка. Полярні саява. Бурі в магнітосфері. Природне випромінювання і поглинання в атмосфері. Явища переносу і обміну в гетерогенних дисперсних системах. Захисні властивості атмосфери.

4.3. Хімічні, радіоактивні, теплові та хвильові забруднення атмосфери.

5. Основи фізики Землі та її поверхні

5.1. Форма та розміри Землі. Глибинні зони та їх густина. Земна кора (літосфера). Оболонка (мантія), ядро. Водна оболонка та гідросфера. Тепло Землі. Залежність температури Землі від глибини у поверхневому шарі. Тиск усередині Землі.

5.2. Елементи фізики твердого тіла. Будова кристалів. Поняття про кристалохімію. Форма і ріст кристалів. Теплоємність твердих тіл. Потрійна точка. Кристалізація розчинів. Діаграми плавкості. Сили зв'язку в кристалах.

5.3. Склад речовини Землі. Класифікація мінералів. Фізичні властивості мінералів. Самородні елементи. Гірські породи. Магматичні породи. Базальтовий шар земної кори. Осадкові породи. Хімічні осади. Осадкові породи органічного походження. Корисні копалини (нафта, газ, вугілля, руди чорних та кольорових металів, будівельне каміння та сировина для виробництва будівельних матеріалів).

5.4. Фізика процесів геологічних стихій – землетрусів, цунамі. Вулкани і вулканізм. Підземні пожежі. Гейзери. Рухи земної кори. Коливальні рухи. Плинні води. Ерозії. Утворення та діяльність річок. Перенесення матеріалу та річкові відклади. Штучні водойми, їх вплив на навколишнє середовище. Підземні води. Діяльність підземної води. Особливості води та фізичні аспекти взаємодії забруднень з водою.

5.5. Лід на Землі. Льодовики. Діяльність льодовиків. Багаторічна мерзлота. Фізичні передумови вітру, буранів, ураганів. Теплові бурі. Розвіювання, корозія. Вплив океану на клімат Землі.

6. Вплив життєдіяльності людини на фізичні процеси в навколишньому середовищі

6.1. Фізико–екологічний аналіз енергетики. Парові атомні енергосистеми та наслідок їх роботи (“нормальні” та “аварійні”).

6.2. Парниковий ефект. Озонові дірки.

6.3. Видобування води, корисних копалин та будівельних матеріалів. Фізико–геологічні наслідки.

7. Основні принципи та проблеми екологічно чистої енергетики. Водні та вітрові електростанції. Використовування енергії хвилі та променів

8. Безпосереднє використання сонячної енергії. Космічні енергостанції

9. Фізичні методи дослідження довкілля

9.1. Гідрометеослужба, прогнози погоди.

9.2. Дистанційні вимірювання концентрації домішок в атмосфері.

Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Формування у майбутніх фахівців знань, що стосуються спеціальних законів, за якими відбуваються процеси і явища навколишнього світу та теоретичної бази для вивчення спеціальних дисциплін з екології.

1.2. Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі викладання дисципліни, є теоретична та практична підготовка студентів по розділам:

- Геофізичне положення Землі у Всесвіті та Сонячній системі.
- Фізика Сонця.
- Атмосфера Землі, її склад та фізичні параметри.
- Основи фізики Землі та її поверхні.
- Фізичні явища на межі двох середовищ.
- Вплив життєдіяльності людини на фізичні процеси в навколишньому середовищі.

- Основні принципи та проблеми екологічно чистої енергетики.
- Фізичні методи дослідження довкілля.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

вміти:

- давати фізичну оцінку явищ і процесів, використовуючи фізичні основи механіки, термодинаміки, електрики та магнетизму, хвильових процесів, ядерної фізики;
- давати фізичну оцінку екологічної, конструктивної та експлуатаційної надійності елементів мереж та будівельних споруд на основі випробувань і вимірювань, використовуючи відповідні методики;

За умов виробничої діяльності:

- під час проектування елементів господарських мереж та будівельних споруд роботи аналіз закономірностей фізичних процесів на основі досліджень для вибору методик визначення технічних параметрів.

знати:

- методи і засоби фізичних вимірювань;
- визначення та одиниці виміру фізичних величин;
- фізичні явища;
- закони та рівняння фізики.

Програма спецкурсу «Фізико-хімічні властивості атмосфери»

Вступ. Значення курсу “Фізико-хімічні властивості атмосфери”. Його зв’язок з профільюючими загальними курсами. Науково-методологічні принципи побудови вивчення курсу “

1. Атмосфера Землі, її склад та фізичні параметри.

1.1. Атмосфера і її склад. Зміни фізичних параметрів атмосфери (тиску, температури, складу повітря) залежно від висоти. Атмосферні потоки, мусони, пасати. Циркуляція земної атмосфери. Рух повітряних мас на Землі. Умови виникнення вітру. Поняття про розу вітрів.

1.2 Іоносфера Землі. Магнітне поле Землі. Іоносфера Землі і її радіаційні пояси. Рух заряджених частинок у магнітному полі Землі.

Струм в газах. Іонізація і електропровідність газів. Типи і механізми розряду в газах. Блискавка. Полярні сяйва. Бурі в магнітосфері. Природне випромінювання і поглинання в атмосфері. Явища переносу і обміну в гетерогенних дисперсних системах. Захисні властивості атмосфери.

1.3. Тепловий баланс атмосфери

1.4. Хімічні, радіоактивні, теплові та хвильові забруднення атмосфери.

Мета та завдання навчальної дисципліни

1.1. Основною метою викладання дисципліни “Основи фізики атмосфери” є формування у майбутніх фахівців знань, що стосуються спеціальних законів, за якими відбуваються процеси і явища навколишнього світу та теоретичної бази для вивчення спеціальних дисциплін з екології.

1.2. Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі викладання дисципліни, є теоретична та практична підготовка студентів по розділам:

- Геофізичне положення Землі у Всесвіті та Сонячній системі.
- Атмосфера Землі, її склад та фізичні параметри.
- Основи фізики Землі та її поверхні.
- Фізичні явища на межі двох середовищ.
- Вплив життєдіяльності людини на фізичні процеси в навколишньому середовищі.
- Фізичні методи дослідження довкілля.

1.3. Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні:

вміти:

- давати фізичну оцінку явищ і процесів, використовуючи фізичні основи механіки, термодинаміки, електрики та магнетизму, хвильових процесів, ядерної фізики;
- давати фізичну оцінку екологічної, конструктивної та експлуатаційної надійності елементів мереж та будівельних споруд на основі випробувань і вимірювань, використовуючи відповідні методики;

В умовах виробничої діяльності:

- при проектуванні елементів господарських мереж та будівельних споруд роботи аналіз закономірностей фізичних процесів на основі досліджень для вибору методик визначення технічних параметрів.

знати:

- методи і засоби фізичних вимірювань;
- визначення та одиниці виміру фізичних величин;
- фізичні явища;
- закони та рівняння фізики.

Як навчитись розв'язувати задачі з фізики?

Необмежені можливості для розвитку інженерного мислення надає студентові процес навчання розв'язування задач з фізики, стимульований його *бажанням* навчитись робити це самостійно.

Методиці розв'язування фізичних задач присвячено багато спеціальних посібників і при бажанні студенти можуть до них звернутись. Ми спробуємо простою мовою донести до студента особливості методики розв'язування задач з фізики.

Існують три основні прийоми пошуку розв'язків задач: аналітико-синтетичний, алгоритмічний, евристичний. Ці наукові назви насправді мають досить простий зміст. Перший з них походить від поєднання двох термінів: «аналіз» (розклад цілого на окремі складові елементи) та «синтез» (об'єднання елементів в єдине ціле). Другий походить від поняття «алгоритм», що означає скінченний набір правил та дій (свого роду інструкцію), що дозволяє чисто механічно вирішити будь-яку конкретну задачу з певного класу однотипних задач. Третій має походження від слова «еврика» (вигук радості Архімеда «Я знайшов!») тобто знаходження розв'язку проблеми за допомогою особливого підходу, який не впливає з умов задачі.

Звичайно *аналітико-синтетичний* прийом є найпоширенішим під час вирішення будь-яких задач, фізичних та інженерних проблем. Його застосування до окремого класу однотипних задач дає змогу узагальнити та сформулювати *алгоритмічний* прийом. Тому більшість задач даного посібника (95%) розв'язується саме за допомогою них. І лише тому, що деякі інженерні чи побутові проблеми в явному вигляді не мають підказки до свого вирішення, а вимагають застосування *евристичних* прийомів, у посібнику збережено близько 5% подібних задач.

Наведемо оптимальну послідовність дій, які бажано виконувати у процесі розв'язання задач. Цю послідовність можна подати у вигляді окремих *етапів* роботи, які є обов'язковими і, фактично, однаковими для всіх трьох прийомів.

Перший етап. Запис умови задачі та засвоєння її змісту. Цей етап вважається виконаним повністю, якщо студент, не підглядаючи в записи, може своїми словами передати зміст задачі, не зациклюючись на числових значеннях. Але обов'язково намагатись дати відповідь на таке. Які об'єкти описані в задачі? Які характеристики цих об'єктів відомі? Що потрібно

визначити в задачі? Запис умови задачі одночасно є і елементом оформлення задачі під час виконання контрольної роботи.

Другий етап. Аналіз фізичної суті задачі. Тобто мова йде про розпізнання за умовою задачі того фізичного явища, яке розглядається в задачі, визначення розділу та теми курсу фізики, де воно описане. Фактично це є пошук відповіді на запитання: що необхідно знати, щоб дати відповідь на запитання задачі? Для цього необхідно (за допомогою підручника чи короткого теоретичного довідника) виділити особливості явища, виписати закони, рівняння та інші співвідношення, що його описують, та занести їх до чернетки. Під час оформлення роботи цього важливого етапу в явній формі не видно. А це якраз основна аналітична робота з осмисленн фізичної суті задачі та пошуку тих знань, які приведуть до розв'язання задачі.

Наприклад, маємо задачу: куля , що летіла горизонтально зі швидкістю 400 м/с, попадає в брусок, підвішений на нитці довжиною 4 м і застрягає в ньому. Визначити кут, на який відхилиться брусок, якщо маса кулі 20 г, маса бруска 5 кг. Опис ситуації досить простий, об'єкти відомі, параметри задані (брусок на початку був нерухомий). Потрібно визначити кут відхилення такого балістичного маятника. Яка фізична суть явища? Коротка швидкоплинна взаємодія кулі та бруска в фізиці називається *ударом*. Удари розглядаються в механіці, в темі застосування законів збереження. Є удари пружні та абсолютно непружні. Якщо куля застрягла (тобто між кулею та бруском існувало тертя і після зіткнення вони рухаються як одне ціле), то це абсолютно непружний удар і описується він *законом збереження імпульсу*. Подальший рух бруска відбувається без тертя і тому справедливий *закон збереження механічної енергії*. Таким чином, при розв'язанні задачі потрібно буде застосувати ці два закони збереження.

Третій етап. Короткий запис та модель задачі. Під час виконання двох попередніх етапів у студента повинна виникнути повна картина явища, яку можна подати у вигляді графічного представлення. Це може бути рисунок, схема, діаграма, графік залежності характеристик і т.п. Графічні представлення є бажаними, тому що стимулюють введення позначень фізичних величин. Використовуючи умову задачі та позначення величин, згаданих у задачі, виписують значення величин, які відомі. Під час оформлення роботи короткий запис виділяють словом «Дано:» (див. приклади розв'язання задач у наступному розділі). Шукані величини відділяють рисою від заданих.

Під час формування короткого запису важливо дуже уважно ще раз проаналізувати умову задачі та виявити приховані або неявно задані параметри. Наприклад, у задачі: визначити гальмівний шлях автомобіля, який почав гальмування за швидкості 72 км/год, маючи коефіцієнт тертя ковзання на асфальтному покритті 0,7. Тут явно задані значення двох величин. Цього замало для розв'язання задачі. Але знаючи, що гальмівним шляхом називають відстань від початку гальмування до повної зупинки, знаходимо неявно задане значення кінцевої швидкості – вона дорівнює нулеві. Крім того, гальмування є сповільненим рухом, найпростішим випадком якого є рівносповільнений. Якщо немає інших вказівок, то ми отримуємо прихований параметр процесу – це рух зі сталим прискоренням гальмування.

Четвертий етап. Формування фізико-математичної моделі задачі. Під час оформлення задачі цей етап починається після слова «Розв'язання». Це і є серцевина фізичної задачі. Тут зібрано в логічній послідовності все, що було зроблено на трьох попередніх етапах: названі словами ті закони та рівняння, що описують фізичні явища задачі, наведені самі рівняння з використанням позначень короткого запису та графічного відображення задачі, введені додаткові умови та зв'язки між величинами, якщо це оговорено в умові задачі. Власне, це – сформована система математичних рівнянь, що описує фізичні явища конкретної задачі.

П'ятий етап. Розв'язок задачі в загальному вигляді. Цей етап, як і всі наступні, є традиційним і, фактично, стандартним за процедурою. Потрібно правильно розв'язати отриману систему рівнянь, послідовність окремих рівнянь чи якесь одне складне рівняння. Шукані величини мають бути виражені формулою через літерні позначення відомих у задачі величин або загальновідомих фізичних констант.

Шостий етап. Перевірка розмірності або одиниць вимірювання. Під час оформлення задач цей етап завжди відмічають якраз тими словами, які виписані в назві етапу. Для визначення розмірності (або одиниць вимірювання) шуканих у задачі величин у розрахункову формулу для неї підставляють розмірність (без числових значень) відомих величин, через які вона визначена.

Сьомий етап. Розрахунки числових значень шуканих величин. Під час оформлення задачі цей етап починається словами «Підставимо значення:». Зауважимо, що перед тим як підставляти фізичні величини у відповідну формулу, їх обов'язково виражають в одиницях Міжнародної системи

одиниць СІ. При цьому, у формулу підставляють лише числові значення величин без їхніх одиниць вимірювання.

Восьмий етап. Аналіз результатів. Цей етап не є обов'язковим, бо іноді така перевірка здійснюється автоматично, майже підсвідомо, як тільки отриманий результат вражає своєю несуразністю. Наприклад, у задачі визначена швидкість руху електрона, прискореного в електричному полі, значення якої – $5 \cdot 10^9$ м/с. Це більше, ніж швидкість світла у вакуумі, тому очевидно, що задача розв'язана невірно. Але в деяких випадках такий аналіз є доцільним або необхідним. Наприклад, якщо в задачі на динаміку руху тіл за наявності сил тертя отримано результат для прискорення системи зі знаком мінус, це не означає, що виникла помилка під час вибору напрямку руху і потрібно вважати результат вірним, тільки змінити його напрямок. У цьому випадку задачу потрібно розв'язати заново, вибравши протилежний напрямок можливого руху. Результат обов'язково буде іншим, можливо, також зі знаком мінус. А це означатиме, що рух не виникне взагалі.

Для подібних складних випадків іноді в задачах присутня пряма вказівка: проаналізувати отриманий результат. Тоді під час оформлення задачі цей етап стає обов'язковим.

Дев'ятий етап. Відповідь. Після тієї великої роботи, яка була проведена на попередніх етапах, залишилось оформити результат. Сформулювати, які величини отримано, їхні значення та одиниці вимірювання. За наявності особливих зауважень – зробити їх.

Які ж особливості в розглянутій послідовності дій під час розв'язування задач накладає використання *алгоритмічного* прийому? У процесі оформлення задач – ніяких, під час розв'язування – значні спрощення. Наприклад, ціла група задач кінематики на рух в полі сили тяжіння дозволяє розгляд їх за простою інструкцією, пропускаючи всю роботу перших чотирьох етапів, тож належить:

а) зробити традиційний вибір системи координат xOy - Ox по горизонталі в напрямку руху, Oy вертикально вгору;

б) врахувати, що вектор прискорення вільного падіння g орієнтований вертикально вниз;

в) записати систему рівнянь для координат та швидкостей:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2} \\ y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2} \\ v_x = v_{0x} + a_x t \\ v_y = v_{0y} + a_y t ; \end{cases}$$

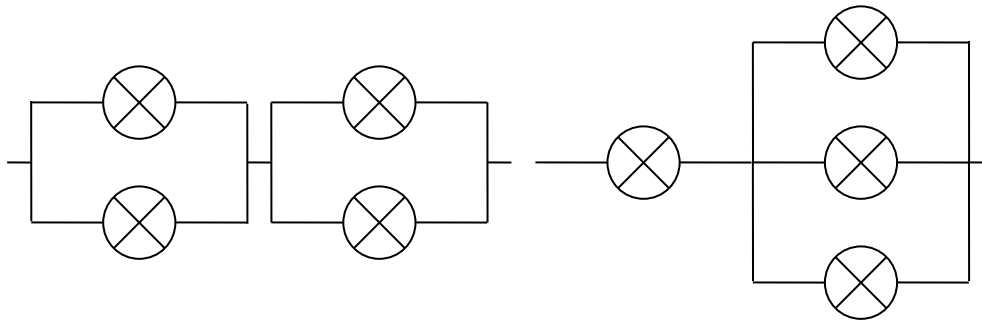
г) користуючись умовою задачі та власним вибором розташування системи координат, визначити ті величини, що відомі і входять у систему рівнянь;

д) розв'язати систему рівнянь відносно невідомих величин. А далі все так, як в шостому – дев'ятому етапах. Під час проведення практичних занять викладачі намагаються, в першу чергу, розв'язати типові задачі, тобто підготувати свого роду інструкції, шаблони для значної кількості задач, які зустрінуться в контрольній роботі.

Ще раз підкреслимо, що і ті задачі, які вимагають застосування *евристичних* прийомів під час розв'язування, розглядаються за тією ж послідовністю дій, тобто включають усі наведені вище етапи. Особливість цих задач проявляється лише в тому, що на четвертому етапі, крім наведення необхідних рівнянь і законів, має бути сформульована ідея, особливий підхід до пошуку рішення. У студента може виникнути запитання: як йому дізнатись, що він має справу з подібною задачею? Про це можна дізнатись ще на третьому етапі. Це завжди буде у випадках, коли неможливо уявити повну модель задачі, тобто, всі стадії процесу, або повну геометрію, або готову схему, або єдиний кінцевий результат.

Наведемо приклад подібної задачі. У мережу з напругою 220 В необхідно ввімкнути лампи, розраховані на напругу 110 В: дві лампи потужністю 25 Вт, одну – 50 Вт і одну – 100 Вт. За якою схемою їх потрібно ввімкнути в мережу, щоб вони працювали в номінальному режимі? Очевидна необхідність застосування евристичного прийому закладена в формулюванні задачі: готова схема з'єднання невідома. Тому, навіть скрупульозно виконавши всі необхідні дії перших чотирьох етапів, виписавши формули для потужності, що виділяється на лампі, формули для розрахунку послідовних та паралельних з'єднань, розв'язок знайти неможливо. Потрібна *ідея пошуку розв'язку*. Для цієї задачі вона така. Щоб отримати з напруги 220 В напругу 110 В потрібно її подати на послідовне з'єднання двох однакових опорів.

Тобто схема включення ламп має складатись з двох груп, з'єднаних послідовно. А щоб забезпечити номінальну напругу 110 В на кожній лампі, в межах кожної групи лампи мають з'єднуватись паралельно. Отримаємо всього дві можливих схеми:



Тепер можна продовжити розв'язування за традиційною схемою. Використовуючи формулу для потужності, що виділяється на кожній лампі, отримаємо величини їхніх опорів. Співвідношення опорів таке: одна лампа має опір R , ще одна – $2R$ і дві з опором $4R$. Легко перевірити, що єдиною можливою схемою є наведена праворуч, в якій окремо включена лампа 100Вт і три інших – паралельно.

1.1. Правила оформлення індивідуальних завдань

Для оформлення індивідуальних завдань необхідно виконати такі вимоги:

1. Індивідуальне завдання виконується у зошиті. Обкладинка зошита оформлюється згідно з дод. І.
2. Умови задач необхідно переписувати повністю.
3. Розв'язання задач повинно супроводжуватись короткими, але вичерпними поясненнями. За необхідністю наводиться креслення рисунка, зробленого за допомогою креслярського обладнання. Для зауважень викладача на сторінках зошита потрібно залишати поля.
4. Розв'язувати кожну задачу потрібно у загальному вигляді, тобто необхідно виразити шукану величину через символи (позначені літерами) величин, які задані в умові задачі. За такого способу розв'язання значення проміжних величин не розраховують.
5. Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності бажано виконати перевірку розмірності, тобто підставити в праву частину формули одиниці виміру всіх величин, виконати з ними відповідні дії та переконатися в тому чи відповідає одиниці виміру шуканої величини отримана при цьому одиниця виміру.

6. Числові значення величин при підстановці їх у розрахункову формулу подавати тільки в одиницях системи СІ.
7. Під час підстановки в розрахункову формулу, а також у процесі запису відповіді, значення величин потрібно записувати у вигляді добутку десяткового дробу з однією значущою цифрою перед комою на відповідний степінь десяти. Наприклад, число 8689 записати так – $8,68 \cdot 10^3$; число 0,00256 – $2,56 \cdot 10^{-3}$ тощо.
8. Розрахунки за формулою потрібно проводити з виконанням правил округлення, кінцевий результат подати з трьома значущими цифрами та одиницями вимірювання.

Особливу увагу потрібно звернути на додатки цих методичних рекомендацій. В них приведені всі необхідні дані та сталі величини, які необхідні для розв'язування задач зі спецкурсу.

Розділ 1. Зміст практикуму „ОСНОВИ ФІЗИКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА“ та „ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АТМОСФЕРИ“

Практикуми спецкурсів складаються з таких тем:

1. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова Всесвіту. Рух тіл в неінерціальних системах відліку.
2. Фізика Сонця. Квантова природа випромінювання Сонця. Теплове випромінювання Сонця. Радіоактивність. Ядерні реакції, що протікають на Сонці.
3. Фізика атмосфери. Електричний струм в газах та електролітах.
4. Фази і фазові переходи. Вологість повітря.
5. Явища, які протікають на межі поділу фаз. Поверхневий натяг. Капілярні явища. Поверхнево-активні речовини. Сорбція.
6. Гідродинаміка*.

*Тема 6 відноситься до спецкурсу “Основи фізики навколишнього середовища”.

2.1. Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова Всесвіту. Рух тіл в інерціальних системах відліку

Основні формули

Закон всесвітнього тяжіння

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2},$$

де G – гравітаційна стала; m_1 і m_2 – маси тіл; r – відстань між тілами.

Напруженість гравітаційного поля

$$E = -G \frac{m}{r^2}.$$

Потенціал гравітаційного поля

$$\varphi = -G \frac{m}{r}.$$

Закони Кеплера

Перший закон Кеплера

Всі планети обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному із фокусів якого знаходиться Сонце.

Другий закон Кеплера

За рівні проміжки часу радіус-вектор орбіти планети описує однакову площу.

$$vr = \text{const}$$

де vr – має назву секторної швидкості.

Третій закон Кеплера

Квадрати часу обертання планет навколо Сонця пропорційні кубу їх середніх відстаней до Сонця (за умови $M_{\text{Сонця}} \gg M_{\text{планети}}$):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

де T_1 та T_2 – періоди обертання планет навколо Сонця; a_1 та a_2 – великі осі еліптичних орбіт планет.

Сила інерції

$$F_i = -ma_i,$$

де m – маса тіла; a_i – прискорення, з яким рухається система відліку (прискорення інерції).

Сила Коріоліса

$$F_k = 2m\mathbf{v} \cdot \boldsymbol{\omega} \sin\varphi,$$

де v – лінійна швидкість руху тіла; ω – кутова швидкість обертання системи відліку; φ – кут між векторами $\vec{v}$ та $\vec{\omega}$.

Задачі до розділу „Всесвітнє тяжіння. Закони Кеплера. Будова всесвіту.

Рух тіл в інерціальних системах відліку”

- 1.1.3 поверхні Землі вертикально вгору запущена ракета із швидкістю 5 м/с. На яку висоту вона підніметься?
- 1.2. Визначити обумовлену обертанням Землі навколо своєї осі швидкість та доцентрове прискорення точок поверхні Землі на широті Києва (50°). Радіус Землі вважати 6370 км.
- 1.3. На спортивних змаганнях у Києві спортсмен штовхнув ядро на відстань 16 м 20 см. На яку відстань полетить таке ж ядро у Ташкенті за таких же умов (за такої же початкової швидкості, напрямленій під таким же кутом до горизонту)? Прискорення сили тяжіння у Києві $981,2 \text{ см/с}^2$, в Ташкенті – $980,3 \text{ см/с}^2$.
- 1.4. Літак піднімається і на висоті 5 км досягає швидкості 360 км/год. У скільки разів робота, виконана під час підйому проти сили тяжіння, більше роботи, що йде на збільшення швидкості літака? Тертям знехтувати.
- 1.5. Перший у світі космонавт Ю.А.Гагарін на кораблі-супутнику «Восток 1» рухався по орбіті, яка мала середню відстань від поверхні Землі 251 км. Вважаючи орбіту коловою, визначити швидкість супутника на орбіті та період його обертання навколо Землі.
- 1.6. Супутник, запущений у площині екватора так, що весь час знаходився над однією і тією ж точкою екватора. Визначити радіус орбіти супутника, висоту над поверхнею Землі, орбітальну швидкість супутника.

- 1.7. Визначити лінійну та кутову швидкості супутника Землі, який обертається по коловій орбіті на висоті 1000 км.
- 1.8. Знайти мінімальну швидкість, яку потрібно надати тілу, щоб вивести його на орбіту навколо Землі.
- 1.9. Знайти мінімальну швидкість, яку потрібно надати тілу, щоб воно змогло покинути Землю, подолавши поле тяжіння та стати планетою Сонячної системи.
- 1.10. Знайти початкову швидкість, яку потрібно надати ракеті, щоб вона змогла вийти за межі Сонячної системи.
- 1.10. Знайти прискорення вільного падіння g на висоті 30 км над поверхнею Землі.
- 1.11. Знайти залежність прискорення вільного падіння g від широти місцевості, вважаючи Землю однорідною кулею.
- 1.12. Визначити напруженість гравітаційного поля на висоті 1000 км над поверхнею Землі.
- 1.13. У даній точці поля тяжіння на матеріальну точку, що має масу 1 кг, діє сила тяжіння 9,8 Н. Визначити напруженість гравітаційного поля в цій точці.
- 1.14. Радіус орбіти Нептуна в 30 разів більше радіуса орбіти Землі. Яка тривалість року на Нептуні?
- 1.15. В однорідній кулі густиною ρ і радіусом R зроблено отвір вздовж осі. Визначити роботу з переміщення тіла масою M : а) із центра на поверхню кулі; б) від поверхні кулі в нескінченність.
- 1.16. Яку роботу необхідно виконати, щоб вивести тіло масою 500 кг на орбіту штучного супутника Землі і на орбіту штучної планети Сонячної системи?
- 1.17. Яка робота буде виконана силами гравітації під час падіння на Землю тіла масою 2 кг з висоти 1000 км? З нескінченності?
- 1.18. Яку мінімальну роботу необхідно виконати, щоб відправити тіло із Землі на Місяць? Вважати, що в процесі руху положення Місяця і Землі не змінюється.
- 1.19. Яку кінетичну енергію треба надати тілу, що має масу 4 т, на полюсі Землі, щоб воно піднялося вертикально вгору на висоту 6370 км? Яку швидкість треба надати цьому тілу? Опором повітря нехтувати.
- 1.20. У скільки разів кінетична енергія штучного супутника Землі, що рухається по коловій орбіті, менша його потенціальної енергії гравітаційної взаємодії?

- 1.21. Підрахувати гравітаційну енергію кулі радіуса R , рівномірно заповненою речовиною з густиною ρ (об'ємна густина).
- 1.22. Визначити густину кулеподібної планети, якщо вага тіла на полюсі в 2 рази більше, ніж на екваторі. Період обертання планети навколо власної осі – 2 год 40 хв.
- 1.23. Для розрахунку середньої густини ρ Землі, Ейлер застосував метод вимірювання прискорення вільного падіння g_0 на поверхні Землі і прискорення вільного падіння g в шахті на глибині h . Вважається, що густина Землі в поверхневому шарі товщиною h однорідна і дорівнює $\rho_0 = 2,5 \text{ г/см}^3$. У дослідях Ейлера $g - g_0 = 5,2 \cdot 10^{-5} g_0$, $R_3/h = 1,6 \cdot 10^4$ (R_3 – радіус Землі). Користуючись цими даними, розрахувати середню густину Землі. Чим пояснюється зміна g з глибиною h ?
- 1.24. Визначити масу та середню густину речовини Місяця, якщо прискорення вільного падіння на її поверхні приблизно дорівнює $1,6 \text{ м/с}^2$. Радіус Місяця $1,73 \cdot 10^6 \text{ м}$.
- 1.25. Порівняти дію на Місяць Землі та Сонця.
- 1.26. Визначити величину гравітаційного тиску в центрі сфери радіуса R , якщо: а) густина сфери однорідна і дорівнює ρ_0 ; б) густина зростає прямо пропорційно радіусу сфери.
- 1.27. Оцінити температуру в середині сфери радіуса R , яка складається з водню з середньою густиною $\rho_0 = 1,4 \text{ г/см}^3$: а) для розмірів Землі; б) для розмірів Сонця.
- 1.28. Період обертання планети Сатурн навколо Сонця в $n = 30$ разів більший за період обертання Землі. Знаючи відстань від Землі до Сонця, визначити відстань від Сатурна до Сонця (орбіти вважати круговими).
- 1.29. Період обертання супутника по коловій орбіті навколо Землі 240 хв. Маса супутника 1,2 т. Визначити висоту орбіти над поверхнею Землі та кінетичну енергію супутника.
- 1.30. Планета Марс має два супутника – Фобос та Демос. Перший знаходиться на відстані $R_1 = 9,5 \cdot 10^3 \text{ км}$ від центра Марса, а другий – на відстані $R_2 = 2,4 \cdot 10^4 \text{ км}$. Знайти період обертання цих супутників навколо Марса.
- 1.31. На якій відстані від центра Землі знаходиться точка, в якій напруженість сумарного гравітаційного поля Землі та Місяця дорівнює нулеві? Вважати, що маса Землі в 81 раз більша за масу Місяця та, що відстань від центра Землі до центра Місяця складає 60 радіусів Землі.
- 1.32. Вважаючи, що Земля рухається навколо Сонця по коловій орбіті, визначити масу Сонця та прискорення сили тяжіння на поверхні Сонця,

якщо його радіус $6,95 \cdot 10^8$ м. Середня відстань від Землі до Сонця $1,5 \cdot 10^{11}$ м.

- 1.33. Знайти залежність прискорення вільного падіння від висоти над поверхнею Землі. На якій висоті прискорення вільного падіння складає 25% від прискорення вільного падіння на поверхні Землі?
- 1.34. Знайти період обертання навколо Сонця штучної планети, якщо відомо, що велика піввісь її еліптичної орбіти більше піввісі земної орбіти на 24 мільйони кілометрів.
- 1.35. Комета, захоплена Сонцем на орбіту, має лінійну швидкість в апогеї $v_1 = 0,8$ км/с, її відстань від Сонця $R_a = 6 \cdot 10^{12}$ м. У перигеї – $v_2 = 50$ км/с. Знайти відстань комети (R_p) в перигеї.
- 1.36. Обчислити величину поперечного зміщення снаряда S , який випущений у Північній півкулі в меридіанній площині з пункту, що має географічну широту 70° з півночі на південь за час польоту $t = 2,5$ с. Початкова швидкість снаряда 1,2 км/с. Силу опору повітря не враховувати.
- 1.37. Обертання Землі зумовлює відхилення поверхні води в річках від горизонтального положення. Обчислити нахил поверхні води в річці до горизонтальної поверхні, якщо річка тече на широті ϕ з півночі на південь і з швидкістю v . (Розрахувати для Дніпра; $v = 2$ м/с, $\phi = 56^\circ$).
- 1.38. Знайти відносне зменшення ваги в пункті на поверхні Землі з широтою ϕ , що відбувається внаслідок обертання Землі.
- 1.39. Знайти різницю між вагою однакових тіл в діаметрально протилежних точках Землі, зумовлену неоднорідністю гравітаційного поля Місяця. Центр Землі, Місяця і дослідної точки лежать на одній прямій.
- 1.40. Дві мідні кульки, що мають діаметри 4 см та 6 см, дотикаються одна до одної. Знайти потенціальну енергію гравітаційної взаємодії цієї системи.
- 1.41. Обчислити гравітаційну сталу, якщо відомо радіус Землі, середню густину Землі та прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі.
- 1.42. Космічна ракета летить на Місяць. В якій точці прямої, що з'єднує центри Землі та Місяця, ракета буде притягуватися до Землі та Місяця з однаковою силою?
- 1.43. Знайти зміну прискорення вільного падіння під час опускання тіла на глибину h . На якій глибині ця величина складає 25% прискорення вільного падіння на поверхні Землі? Густину Землі вважати сталою. Вказівки. Врахувати, що тіло, яке знаходиться на глибині під поверхнею Землі, не зазнає з боку вищерозташованих шарів ніякого притягання, так як

- притягання від окремих частин шару взаємно компенсуються. (Вважати застосовною теорему Гаусса-Остроградського до гравітаційної взаємодії).
- 1.44. З гармати зроблено постріл вертикально вгору. Початкова швидкість снаряда $v_0=1$ км/с, а широта місцевості $\varphi=60^\circ$. Визначити, де впаде снаряд і на якій відстані від того місця, з якого було зроблено постріл. Опором повітря знехтувати.
- 1.45. З вежі висотою 25 м горизонтально кинули камінь зі швидкістю 15 м/с. Знайти кінетичну й потенціальну енергії каменю через 1 с після початку руху. Маса каменю 0,2 кг. Опором повітря знехтувати.
- 1.46. Обчислити масу вантажу, який зміг би чоловік підняти на поверхні Місяця, якщо на поверхні Землі він може підняти вантаж масою 60 кг. Вважати, що радіус Землі більший за радіус Місяця в 3,7 рази та маса Землі більша за масу Місяця у 81 раз. Чому дорівнює прискорення вільного падіння на Місяці?
- 1.47. Тіло кинуто під кутом до горизонту. Знайти величину початкової швидкості та кута, якщо відомо, що найбільша висота підйому тіла 3 м та радіус кривизни траєкторії тіла у верхній точці траєкторії 3 м. Опором повітря знехтувати.
- 1.48. На яку максимальну висоту змогло би піднятися тіло, якщо його кинуто вертикально вгору на Марсі; на Землі при тій самій швидкості кидка воно піднялося би на висоту 10 м? Співвідношення між радіусами та масами Марса та Землі мають вигляд: $R_M=0,53R_Z$, $M_M=0,11M_Z$.
- 1.49. Визначити силу тяжіння, що діє на тіло масою 1 т на висоті 20 км над полюсом Землі. Вважати, що прискорення вільного падіння $9,83$ м/с², радіус Землі – 6370 км.

Тема 2. Фізика Сонця

Основні формули

Енергія кванта світла

$$\varepsilon = h\nu; \quad \varepsilon = \frac{h \cdot c}{\lambda}; \quad \varepsilon = \hbar\omega,$$

де h – стала Планка; ν – частота світла; λ – довжина хвилі; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; $\omega = 2\pi\nu$.

Маса фотона

$$m_{\phi} = \frac{h\nu}{c^2} \quad \text{або} \quad m_{\phi} = \frac{h}{\lambda \cdot c}.$$

Імпульс фотона

$$p_{\phi} = \frac{h\nu}{c} \quad \text{або} \quad p_{\phi} = \frac{h}{\lambda}.$$

Зміна довжини хвилі рентгенівських променів при комптонівському розсіюванні:

$$\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\varphi),$$

де φ – кут розсіювання; m – маса електрона.

Величина світлового тиску

$$p = \frac{E}{c}(1 + \rho),$$

де E – кількість енергії, яка припадає на одиницю поверхні за одиницю часу;
 ρ – коефіцієнт відбивання світла.

Закон Стефана – Больцмана

Енергетична світність абсолютно чорного тіла (енергія, яка випромінюється за 1 с одиницею площі поверхні абсолютно чорного тіла) визначається за формулою:

$$R = \sigma T^4,$$

де R – енергетична світність абсолютно чорного тіла – енергія, яка випромінюється за 1с з одиниці поверхні; σ – стала Стефана – Больцмана; T – температура тіла.

Закон Віна:

Довжина хвилі, на яку приходить максимум випромінювання абсолютно чорного тіла, обернено пропорційна абсолютній температурі даного тіла

$$\lambda_{\max} = \frac{B}{T},$$

де B – стала Віна; T – температура тіла.

Закон радіоактивного розпаду:

Число атомів, які розпадаються за час t , визначається співвідношенням:

$$N = N_0 e^{-\lambda t};$$

де N_0 – число атомів в момент часу $t=0$; N – число атомів, що залишилися на час t ; λ – стала радіоактивного розпаду.

Період напіврозпаду ядер:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

$T_{1/2}$ – час, за який розпадається половина ядер речовини.

Енергія зв'язку ядер ізотопу:

$$\Delta E = \Delta m c^2;$$

де Δm – різниця між масою складових частин ядра та масою ядра самого ізотопу:

$$\Delta m = [Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n] - m_{\text{я}},$$

де Z – порядковий номер ізотопу (зарядове число); A – масове число ізотопу; m_p – маса протона; m_n – маса нейтрона; $m_{\text{я}}$ – маса ядра.

Енергія, яка виділяється при ядерній реакції:

$$\Delta E = c^2 (\sum m_1 - \sum m_2);$$

де $\sum m_1$ – сума мас частинок до реакції; $\sum m_2$ – сума мас частинок після реакції.

Задачі до розділу „Фізика Сонця”

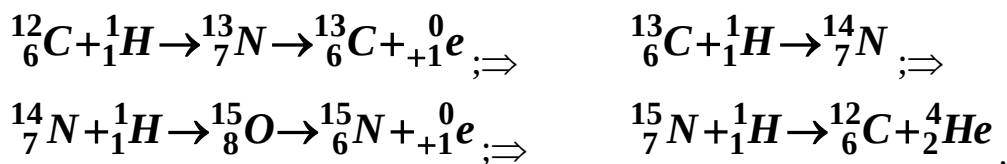
- 2.1. Визначити, за якої температури середня енергія молекул триатомного газу дорівнює енергії фотона з $\lambda=500$ нм.
- 2.2. Визначити енергію, імпульс і масу фотона, довжина хвилі якого відповідає видимому діапазону хвиль з $\lambda=550$ нм.
- 2.3. Яку довжину хвилі повинен мати фотон, щоб його маса дорівнювала б масі спокою електрона?
- 2.4. Точкове джерело потужністю 1 Вт випромінює світло з довжиною хвилі 589 нм. Визначити середню густину потоку фотонів на відстані 2 м від джерела і відстань, на якій в одному кубічному сантиметрі утримується один фотон.
- 2.5. Монохроматичний пучок ($\lambda=660$ нм) світла падає нормально на поверхню з коефіцієнтом відбиття $\rho=0,8$. Визначити кількість фотонів, які щосекунди поглинаються поверхнею 1 см^2 , якщо тиск світла на поверхню становить $p=1,00$ мкПа.
- 2.6. Паралельний пучок світла з інтенсивністю $j=0,2 \text{ Вт/см}^2$ падає під кутом $\phi=60^\circ$ на плоске дзеркало з коефіцієнтом відбиття $\rho=0,9$. Визначити тиск світла на дзеркало.
- 2.7. Фотон рентгенівського випромінювання з енергією $E=0,15 \text{ MeV}$ розсіявся на електроні, який знаходиться в спокої, в результаті чого його довжина хвилі збільшилась на $\Delta\lambda=0,015 \text{ \AA}$. Знайти кут ϕ , під яким вилетів комптонівський електрон.
- 2.8. Одна половина кулі має поверхню з коефіцієнтом відбиття $\rho_1=1$, а друга $\rho=0$. Як розташується куля в однорідному світловому потоці?
- 2.9. Яка сила світла Сонця діє на сонячну батарею міжнародної орбітальної станції, якщо її площа $S=4 \cdot 10^3 \text{ м}^2$, а коефіцієнт поверхневого відбиття $\rho=0,6$.
- 2.10. Визначити мінімальну довжину хвилі в суцільному спектрі рентгенівських променів, якщо рентгенівська трубка працює при напрузі $U=30 \text{ кВ}$.
- 2.11. Визначити максимальну зміну довжини хвилі при комптонівському розсіюванні світла на вільних електронах і вільних протонах.
- 2.12. Визначити максимальну швидкість електронів, які вилітають із металу під дією γ -променів з довжиною хвилі $\lambda=0,03 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA}=10^{-10} \text{ м}$.)

- 2.13. Муфельна піч, що споживає потужність 1 кВт, має отвір площею 100 см^2 . Визначити частку потужності, що розсіюється через отвір печі, якщо температура її внутрішньої поверхні дорівнює 1000 К.
- 2.14. Середня енергетична світність поверхні Землі дорівнює $0,54 \text{ Дж}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$. Якою має бути температура поверхні Землі, якщо умовно вважати, що вона випромінює як сіре тіло з коефіцієнтом чорності 0,25?
- 2.15. Вважаючи, що атмосфера поглинає 10% променистої енергії, яку посилає Сонце, знайти потужність, яку одержує від Сонця горизонтальна ділянка Землі площею 0,5 га. Висота Сонця над обрієм 30° . Випромінювання Сонця вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла.
- 2.16. Температура поверхні тіла становить 1000 К. Потім одна половина цієї поверхні нагрівається на 100 К, інша охолоджується на 100 К. У скільки разів зміниться випромінюваність поверхні цього тіла?
- 2.17. Абсолютно чорне тіло мало температуру 2000 К. У процесі нагрівання довжина хвилі, на яку припадає максимум спектральної випромінювальної здатності, зменшилась на 6 мкм. У скільки разів зросла випромінюваність тіла?
- 2.18. Знайти, на скільки зменшиться маса Сонця за рік внаслідок випромінювання. Температуру поверхні Сонця вважати 5800 К.
- 2.19. Розпечена металева поверхня має площу 10 см^2 випромінює за 1 хв $4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Температура поверхні дорівнює 2500 К. Визначити енергетичну світність цієї поверхні, якби вона була абсолютно чорною? Який коефіцієнт відбивання поверхні тіла?
- 2.20. Радіус Меркурія – $5,8 \cdot 10^7 \text{ км}$, Марса – $2,3 \cdot 10^8 \text{ км}$. Температура Сонця $T_c = 6000^\circ \text{ С}$. Оцінити за законами теплового випромінювання середні температури поверхні Марса і Меркурія. Поглинанням енергії космічним простором знехтувати.
- 2.21. Яку потужність випромінює 1 см^2 поверхні свинцю за температури кристалізації? Коефіцієнт сірості свинцю становить 0,6.
- 2.22. Оцінити довжини хвиль, на які приходить максимум випромінювання людини, електролампочки, Сонця і Землі.
- 2.23. Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, оцінити інтенсивність сонячної радіації (густину потоку випромінювання) поблизу поверхні Землі (за межами атмосфери).
- 2.24. Оцінити середню температуру поверхні Землі, вважаючи її за абсолютно чорне тіло, за умови, що Земля знаходиться в тепловій рівновазі з енергією,

отриманою від Сонця. Діаметр Сонця видно із Землі під кутом $30'$. Потік тепла від внутрішніх джерел Землі не враховувати.

- 2.25. На скільки градусів знизиться температура Землі за століття, якщо на Землю не буде надходити сонячна енергія? Питома теплоємність Землі $c_3=200 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$, густина (середня) Землі $\rho_3=5,5 \text{ кг/м}^3$, а середню температуру взяти $T=300 \text{ К}$, коефіцієнт поглинання 0,8.
- 2.26. Вважаючи Землю абсолютно чорним тілом, обчислити силу тиску сонячного випромінювання на земну кулю. Радіус Землі дорівнює 6400 км.
- 2.27. Оцінити тиск теплового випромінювання всередині Сонця, де температура $1,3 \cdot 10^6 \text{ К}$ і порівняти його з кінетичним тиском плазмового газу вважаючи, що газ складається лише з протонів і є ідеальним.
- 2.28. Вважаючи, що атмосфера поглинає 10 % променевої енергії, яку посиляє Сонце, знайти потужність, яку отримує від Сонця горизонтальна ділянка Землі площею 0,5 га. Висота Сонця над горизонтом дорівнює 30° . Випромінювання Сонця вважати близьким до абсолютно чорного тіла.
- 2.29. Знайти, наскільки зменшиться маса Сонця за рік внаслідок випромінювання. Вважаючи випромінювання Сонця постійним, знайти, за який час маса Сонця зменшиться в два рази.
- 2.30. Скільки атомів полонію розпадається за добу з 10^6 атомів?
- 2.31. Знайти масу радону, активність якого дорівнює 1 кюрі.
- 2.32. Знайти енергію зв'язку нейтрона в ядрі ${}^4_2\text{He}$.
- 2.33. Деякий радіоактивний препарат має сталу розпаду $\lambda=1,44 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$. Через який час розпадеться 75 % початкової кількості атомів?
- 2.34. Чому дорівнює активність радону, який утворився з 1 г радію за одну годину?
- 2.35. Визначити, скільки ядер в $m_0=1,0 \text{ мг}$ радіоактивного ізотопу ${}^{144}_{58}\text{Ce}$ розпадається протягом часу: 1) $\Delta t=1 \text{ с}$, 2) $\Delta t=1 \text{ год}$. Період напіврозпаду цезію $T=285 \text{ діб}$.
- 2.36. В руді знаходиться однакова кількість атомів ${}^{206}_{82}\text{Pb}$ і ${}^{238}_{92}\text{U}$. Визначити який склад руди був 10^9 років тому?
- 2.37. За нормальних умов 1г радію утворює: $\Delta V=4,3 \cdot 10^{-2} \text{ см}^3$ гелію за рік. Визначити період напіврозпаду радію.
- 2.38. Початкова маса урану ${}^{238}_{92}\text{U}$ $m_0=12 \text{ г}$. Визначити початкову швидкість радіоактивного розпаду і швидкість розпаду через 10^6 років.
- 2.39. Знайти питому енергію зв'язку в ядрах ${}^1_1\text{H}$, ${}^4_2\text{He}$, ${}^{10}_4\text{Be}$, ${}^{11}_5\text{B}$, ${}^{235}_{92}\text{U}$.

- 2.40. Який ізотоп утворюється з $^{238}_{92}\text{U}$ після трьох α -розпадів і двох β -розпадів?
- 2.41. Визначити енергію реакції $^{10}_5\text{B} (n,\alpha) ^7_3\text{Li}$, яка протікає в результаті взаємодії повільних нейтронів з нерухомим ядром бору. Знайти також кінетичну енергію продуктів розпаду.
- 2.42. Знайти поріг ядерної реакції $^{12}_6\text{C} (\text{D},n) ^{13}_7\text{N}$.
- 2.43. Протон, з енергією 0,1 MeV, розсіюється в ядрі ^4_2He під кутом $\pi/2$. Знайти енергію віддачі протона і ядра після розсіювання.
- 2.44. Знайти найменше значення енергії γ -кванта, достатнє для протікання реакції $^{24}_{12}\text{Mg} (\gamma,n)$.
- 2.45. Яку кількість енергії можна отримати від поділу 1 г урану $^{235}_{92}\text{U}$, якщо при кожному акті поділу виділяється енергія 200 MeV.
- 2.46. Яка кількість урану $^{235}_{92}\text{U}$ витрачається за добу на атомній електростанції з чотирьох блоків потужністю по 1000 МВт кожний. ККД вважати 30 %. При одному акті поділу виділяється енергія 200 MeV.
- 2.47. Під час вибуху водневої бомби відбувається температурна реакція синтезу гелію з тритію і дейтерію. Написати реакцію і підрахувати яка кількість енергії виділяється при цьому, якщо утворилося 10 г гелію.
- 2.48. Яку кількість води можна нагріти від 0°C до кипіння, якщо використати всю теплоту, що виділяється під час реакції $^7_3\text{Li}(p,\alpha)$, під час повного розкладання 1 г літію?
- 2.49. В електричному полі якої напруженості почнуть народжуватися електронно-позитронні пари, тобто почнеться пробій вакууму?
- 2.50. Вважаючи, що джерелом енергії сонячного випромінювання є енергія утворення гелію з водню:



підрахувати, скільки тонн водню щосекунди повинно перетворюватися в гелій. Сонячна стала $1,39 \text{ кВт/м}^2$. Підрахувати, на скільки часу вистачить запасів водню на Сонці, якщо водень складає 35 % маси Сонця, а випромінювання незмінне.

Тема 3. Фізика атмосфери

Основні формули

Закони Фарадея для електролізу

I закон. Маса речовини, яка виділяється під час електролізу:

$$m = k \cdot I \cdot t,$$

де m – маса речовини, яка виділяється; k – електрохімічний еквівалент;
 I – сила струму; t – час.

II закон. Електрохімічний еквівалент:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z},$$

де F – число Фарадея; A – атомна маса; Z – валентність.

Питома електропровідність електроліту

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \alpha C \cdot FZ(U_+ + U_-),$$

де α – степінь дисоціації; C – концентрація; F – число Фарадея;
 Z – валентність; U_+ та U_- – рухливість іонів.

Густина струму в газах:

За невеликої густини струму, який протікає в газі, виконується закон
Ома:

$$j = \frac{I}{S} = q \cdot n(U_+ + U_-)E = \sigma E,$$

де σ – питома електропровідність; E – напруженість електричного поля;
 q – заряд іона; Z – валентність; n – число іонів кожного знака в одиниці об'єму
(число пар іонів); U_+ та U_- – рухливість іонів.

Число пар іонів визначається за формулою:

$$n = \sqrt{\frac{N}{\gamma}},$$

де N – число пар іонів, які утворюються в одиниці об'єму за одиницю часу;
 γ – коефіцієнт іонізації.

Барометрична формула:

Барометрична формула показує яким чином змінюється атмосферний тиск за висотою в полі тяжіння Землі:

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}},$$

де μ – молярна маса повітря; h – висота; T – температура повітря.

Задачі до розділу „Фізика атмосфери”

- 3.1. Для отримання алюмінію електролізом із розплаву Al_2O_3 пропускають струм силою $2 \cdot 10^4$ А при різниці потенціалів 5 В. Знайти час, за який виділяється 10^3 кг алюмінію, і скільки електроенергії при цьому витрачається?
- 3.2. Реакція утворення води із водню і кисню проходить з виділенням тепла ($\Delta E = 5,75 \cdot 10^5$ Дж): $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \Delta E$. Знайти найменшу різницю потенціалів, за якої буде проходити розкладання води електролізом.
- 3.3. Розрахувати еквівалентну електропровідність для дуже слабкого розчину азотної кислоти.
- 3.4. Питома електропровідність децинормального розчину соляної кислоти дорівнює $3,5 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$. Знайти ступінь дисоціації.
- 3.5. Еквівалентна електропровідність ($\Lambda = \sigma/q$, $q = cz$) розчину KCl , за якої концентрації дорівнює $122 \text{ см}^2/\text{ом} \cdot \text{г-екв}$, а питома електропровідність при цій концентрації дорівнює $1,22 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ і еквівалентна електропровідність його при нескінченному розведенні дорівнює $130 \text{ см}^2/\text{ом} \cdot \text{г-екв}$. Знайти: ступінь дисоціації KCl за даної концентрації та еквівалентну концентрацію розчину.
- 3.6. Трубка довжиною 3 см і площею поперечного розрізу 10 см^2 заповнена розчином, який має 0,1 кмоль CuSO_4 в 1 м^3 . Опір розчину 38 Ом. Знайти еквівалентну електропровідність розчину ($\Lambda = \sigma/q$, $q = cz$).
- 3.7. Струм $I = 1$ А пропускають протягом 1 хв через підкислену воду. Який об'єм займе гримучий газ, який при цьому утворився, за нормальних умов?
- 3.8. Площа кожного електрода іонізаційної камери 100 см^2 і відстань між ними 6,2 см. Знайти струм насичення в цій камері, якщо відомо, що іонізатор утворює в 1 см^3 щосекунди 10^9 пар іонів кожного знака. Іони вважати одновалентними.

- 3.9. Під час опромінення посудини з газом рентгенівськими променями в кожному кубічному міліметрі його об'єму щосекунди іонізується 10^{10} молекул. В результаті рекомбінації в посудині встановлюється рівновага, причому в 1 см^3 знаходиться 10^8 пар іонів. Знайти коефіцієнти рекомбінації.
- 3.10. Знайти опір трубки довжиною 84 см і площею поперечного перерізу 5 мм^2 , якщо вона заповнена повітрям, іонізованим таким чином, що в 1 см^3 його знаходиться 10^7 пар іонів. Іони одновалентні. Рухомість іонів дорівнює $U_+ = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ та $U_- = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
- 3.11. Яку найменшу швидкість повинен мати електрон для того, щоб іонізувати атом водню? Потенціал іонізації атома водню 13,5 В.
- 3.12. За якої температури атоми ртуті мають середню кінетичну енергію поступального руху достатню для іонізації? Потенціал іонізації 10,4 В.
- 3.13. Середня напруженість електричного поля Землі складає 130 В/м. Визначити густину струму провідності в атмосфері, якщо в 1 м^3 знаходиться $7 \cdot 10^8$ пар одновалентних іонів, які зумовлюють провідність. Рухомість іонів повітря $U_+ = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ та $U_- = 1,91 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
- 3.14. Визначити рухомість U_+ іонів азоту, якщо густина струму $5 \cdot 10^{-11} \text{ А/м}^2$, а концентрація іонів 10^9 м^{-3} , напруженість електричного поля 10^3 В/м . Рухомість $U_- = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.
- 3.15. Через який час після припинення дії іонізатора число пар іонів, внаслідок рекомбінації зменшиться втричі, якщо початкове число пар іонів в одиниці об'єму складало $n_0 = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-3}$? Коефіцієнт рекомбінації взяти рівним $1,67 \cdot 10^{-15} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$.
- 3.16. У процесі розчинення 2,92 г кухонної солі в 1 л води, 44% всіх розчинених молекул солі дисоціювали на іони. Визначити електропровідність такого електроліту.
- 3.17. За якої найменшої швидкості іон кисню може спричинити іонізацію атома гелію? Потенціал іонізації гелію дорівнює 24,5 В. Тепловим рухом атомів гелію можна знехтувати.
- 3.18. В 1 см^3 атмосферного повітря в середньому є 700 пар іонів. Рухомість іонів $U_+ = 1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ а $U_- = 1,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$. Визначити густину вертикального струму для широти Києва, якщо напруженість поля Землі $E = 130 \text{ В/см}$. Вважати, що заряд іонів дорівнює заряду електрона.
- 3.19. Число пар іонів в 1 см^3 повітря під час іонізації космічними променями дорівнює 10^6 см^{-3} . Через який час після припинення дії опромінення число

пар іонів, внаслідок рекомбінації, зменшиться до 10^4 см^{-3} : а) повітря чисте ($\alpha=1,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^3/\text{с}$); б) у повітрі є пил?

- 3.20. Під час електролізу розчину мідного купоросу (CuSO_4) за одну годину розчиняється 4,77 г. Скільки іонів міді нейтралізується щосекунди на катоді? Чому дорівнює струм у розчині? Валентність міді – 2.
- 3.21. Визначити, на якій висоті від поверхні Землі атмосферний тиск буде дорівнювати 700 мм. рт. ст. На рівні моря $p_0 = 760 \text{ мм. рт. ст.}$
- 3.22. На якій висоті тиск повітря становить 75% від тиску на рівні моря? Температуру вважати сталою та рівною 0°C .
- 3.23. У поверхні Землі відношення концентрації молекул H_2 до N_2 дорівнює η_0 , а на висоті 3 км воно стає рівним η . Знайти відношення η/η_0 при $T=280 \text{ К}$, вважаючи, що атмосфера ізотермічна і прискорення вільного падіння не залежить від висоти.
- 3.24. Висотна метеорологічна станція розташована на висоті 3250 м. Визначити тиск повітря на такій висоті. Температуру вважати сталою та рівною 5°C . Молярну масу повітря взяти рівною $29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Тиск біля поверхні Землі дорівнює 101,3 кПа.
- 3.25. Пасажирський літак виконує польоти на висоті 8300 м. Для того, щоб позбутися необхідності використання пасажирами кисневих масок, у салоні, за допомогою компресора, підтримується сталий тиск, який відповідає висоті 2700 м. Визначити різницю тисків всередині і ззовні літака. Середню температуру зовнішнього повітря вважати рівною 0°C .
- 3.26. Визначити густину повітря на висоті 4 км над поверхнею Землі. Температуру повітря вважати сталою і рівною 0°C . Тиск повітря поблизу поверхні Землі 100 кПа.
- 3.27. На якій висоті тиск повітря становить 50% від тиску на рівні моря? Температуру повітря вважати сталою і рівною 0°C .
- 3.28. Застосування електрохімічних методів очищення промислових стічних вод ґрунтується на пропусканні через них постійного струму за допомогою занурених у воду електродів, на які подається відповідна напруга. Зокрема, для видалення розчинених у воді домішок (головним чином – органічних сполук) використовується метод окиснення і катодного відновлення домішок. При такому методі утворюються нетоксичні або малотоксичні, а в деяких випадках нерозчинні у воді продукти, що випадають в осад. Очищення стічних вод здійснюється у бездіафрагмових електролітичних ваннах (електролізерах), у яких паралельно один до одного розміщено електроди, що чергуються – катоди з легованої сталі та аноди (графітове

вугілля, магнетити, діоксид свинцю, марганцю чи рутенію на титановій основі). При цьому на катоді утворюються іони водню H^+ . Скільки електроенергії потрібно для отримання 3,5 л водню за температури 25 °C і тиску 100 кПа, якщо електроліз проводиться за напруги 6 В, а ККД установки становить 70%?

- 3.29. Очищення промислових стічних вод методом електрокоагуляції ґрунтується на електролізі їх за використання металевих (залізних чи алюмінієвих) анодів, які зазнають електролітичного розчинення, що набагато ефективніше, аніж обробка води солями алюмінію або заліза. Електрокоагуляція стічних вод, що містять малі дисперговані домішки, супроводжується додатковими процесами електрофорезу, електрофлотації, сорбції іонів та молекул розчинених домішок, а також частинок емульгованих у воді домішок на поверхні гідроксидів заліза та алюмінію, що потребує відповідних витрат листового металу та електроенергії. Визначити витрати енергії в кіловат-годинах на електрокоагуляцію стічних вод, якщо за технічними нормами напруга на електролізері дорівнює 3,2 В і розчинилося: а) 10 кг заліза; б) 10 кг алюмінію.
- 3.30. Яка кількість електроенергії витрачається на отриманні 1 кг алюмінію, якщо електроліз ведеться за напруги 10 В, а ККД пристрою 80%? Маса кг-атома алюмінію 27 кг/кг-атм.
- 3.31. Електрохімічний еквівалент водню $k=0,01042$ мг/К. Знаючи, що заряд іона водню $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, визначити масу атома водню.
- 3.32. Знайти опір трубки довжиною 18 см і площею перерізу 5 мм^2 , якщо вона заповнена повітрям так, що в 1 см^3 знаходиться за рівноваги 10^7 пар одновалентних іонів з рухливістю $k_1=1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В с}$ і $k_2=1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{В с}$.
- 3.33. Через заповнену повітрям газорозрядну трубку йде струм насичення 10^{-6} А. Яка кількість іонів створюється іонізатором в одиницю часу в просторі між електродами?
- 3.34. Дві електролітичні ванни з розчинами азотнокислого срібла і мідного купоросу з'єднані послідовно. Скільки міді виділиться за той час, протягом якого виділилось 0,36 г срібла?
- 3.35. Скільки необхідно використати ампер-годин, щоб на електроді гальванічного елемента відклався один грам-еквівалент якоїсь речовини?
- 3.36. На основі законів Фарадея для електролізу визначити відношення заряду до маси водневого іону.

- 3.37. Рухомість іонів електроліту дорівнює u_- (для катіону) і u_+ (для аніону).
Яка кількість іонів обох знаків пройшла через електроліт, якщо всього пройшло Q кулонів електрики?
- 3.38. Знайти співвідношення між коефіцієнтом дифузії і рухомістю відповідного іону.
- 3.39. В озеро, яке має середню глибину 10 м і площу поверхні 20 км², кинули кристалик кухонної солі масою 0,01 г. Скільки молекул цієї солі було у наперснику води об'ємом 2 см³, взятій з озера, якщо вважати, що сіль, розчинившись, рівномірно розподілилась у всьому об'ємі води?
- 3.40. Для того, щоб охарактеризувати забрудненість води нафтопродуктами, природоохоронні служби вказують характеристику забрудненості ($\text{м}^2/\text{м}^3$), яка дорівнює площі плівки, що може утворитися на поверхні з нафтопродуктів, які містяться у 1 м³ забрудненої води. Визначити масу нафтопродуктів у 1 м³ для $\gamma = 0,6 \text{ м}^2/\text{м}^3$ та оцінити середнє значення молекулярної маси нафти, якщо середнє значення густини нафти – $0,8 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$, а товщина плівки становить $8 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Тема 4. Фази і фазові переходи. Вологість повітря

Основні формули

Кількість теплоти, що необхідна для нагрівання тіла

Під час нагрівання тіла маси m на Δt градусів необхідно витратити кількість теплоти, яка визначається формулою:

$$Q = cm(t_1^0 - t_2^0) = cm\Delta t^0,$$

де c – питома теплоємність тіла; m – маса тіла; Δt – різниця температур початку і кінця нагрівання.

Теплота плавлення

Кількість теплоти, яка необхідна для переведення тіла маси m з твердого стану в рідкий, визначається за формулою:

$$Q = q \cdot m,$$

де q – питома теплота плавлення тіла; m – маса тіла.

Теплота пароутворення

Кількість теплоти, яка необхідна для переведення тіла маси m зі стану рідини в газ, визначається за формулою:

$$Q = \lambda \cdot m,$$

де λ – питома теплота пароутворення.

Рівняння Клаузіуса – Клапейрона

Залежність тиску насиченої пари P_H від температури визначається рівнянням Клаузіуса – Клапейрона:

$$\frac{dP_H}{dT} = \frac{r_o}{T(v_H - v_P)},$$

де P_H – тиск насиченої пари; v_H – об'єм одного кіломоля пари; v_P – об'єм одного кіломоля рідини; r_o – молярна теплота випаровування.

Абсолютна вологість

Абсолютна вологість повітря визначається кількістю води в повітрі на одиницю об'єму:

$$b = \frac{m}{V},$$

де m – маса води в повітрі; V – об'єм повітря.

Відносна вологість повітря

$$r = \frac{b}{B} \cdot 100\% \text{ або } r = \frac{p}{p_H} \cdot 100\%,$$

де B – максимальна вологість – кількість пари, яка насичує даний об'єм повітря за даної температури; p – тиск пари в повітрі за даної температури; p_H – тиск насиченої пари за даної температури.

Задачі до розділу „Фази і фазові переходи. Вологість повітря”

- 4.1. Вода за температури 10 °С через 10 хв закипіла. Через який час вона перетвориться на пару?
- 4.2. Визначити товщину льоду, який утворюється за 1 добу на поверхні озера за температури –10 °С. Теплопровідність льоду 2,2 Вт/м·К, а густина $0,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
- 4.3. Чому каструля прогорає лише після того, як википить вода?
- 4.4. Чи можна закип'ятити воду в паперовому стаканчику?
- 4.5. Чому краплі води живуть довше на розпеченій сковорідці, ніж на просто гарячій?
- 4.6. Чому чайник перед тим, як закипіти, шумить?
- 4.7. Чому вода закипає швидше в каструлі із закритою кришкою?
- 4.8. Чому зубний лікар перед тим, як подивитися пацієнта, нагріває люстерко?
- 4.9. Чому запотівають окуляри у людини, яка зайшла з холоду?
- 4.10. Чи можна всмоктуючим водяним насосом підняти воду, яка кипить?
- 4.11. Чому за критичної температури теплота пароутворення будь-якої рідини дорівнює нулю?
- 4.12. Чому продукти в закритому холодильнику висихають?
- 4.13. Чому в „вологу” погоду холод відчувається сильніше, ніж у суху?
- 4.14. Яка частина переохолодженої до температури –4 °С води замерзла, якщо в неї кинути шматочок льоду при $t = -4$ °С, який викликав кристалізацію?
- 4.15. Рідину наливають у з'єднані посудини різних діаметрів. Широку частину посудини закривають. Зміниться чи ні розподіл рівнів рідини в колінах посудини і чому?
- 4.16. У кімнаті об'ємом 120 м^3 за температури 15 °С відносна вологість 60 %. Визначити масу водяних парів у кімнаті. Пружність насиченої пари води за температури 15 °С дорівнює 12,79 мм рт.ст. (1,7 кПа).

- 4.17. До приміщення необхідно подати $2 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ повітря при 18°C і відносній вологості 50%, забираючи його з вулиці за температури 10°C і відносній вологості 60%. Скільки додатково необхідно випарувати води у повітря, яке подається в кімнату з вулиці? Густина насиченої водяної пари за 10°C – $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а за 18°C – $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.
- 4.18. Відносна вологість повітря при 30°C дорівнює 80%. Яка буде відносна вологість, якщо повітря нагріти при постійному об'ємові до 50°C ? Скільки необхідно випарувати води, щоб вологість не змінилася? Тиск насиченої пари при 30°C дорівнює 31,8 мм рт.ст., а при 50°C – 92,5 мм рт.ст.
- 4.19. У кімнаті 100 м^3 при 27°C знаходиться повітря з відотною вологістю 30%. Як зміниться відносна вологість у кімнаті, якщо туди внести 1 кг води? Тиск насиченої пари при 27°C – 3,5 кПа.
- 4.20. Осмотичний тиск розчину за температури 87°C дорівнює $1,65 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Яка кількість молекул води приходить на одну молекулу розчиненої речовини у цьому розчині? Дисоціація відсутня.
- 4.21. Воду за дотримання певних умов можна переохолодити до -10°C . Яка маса льоду утвориться з 1 кг такої води, якщо покласти в неї маленький шматок льоду і викликати цим замерзання води? Питому теплоємність переохолодженої води вважати $4190 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$.
- 4.22. На скільки градусів охолоне повітря в кімнаті об'ємом 30 м^3 за 4 год роботи холодильної установки, якщо її продуктивність – 2 кг льоду за температури (-2°C) за добу, а охолодження починається за температури 20°C ? Питома теплоємність повітря $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{град}$.
- 4.23. Під час кондиціонування, зовнішнє повітря з температурою 20°C і вмістом вологи 6 г/м^3 , підігрівається у калорифері до температури 45°C . Визначити відносну вологість зовнішнього та підігрітого повітря.
- 4.24. У процесі кондиціонування повітря в приміщення заводського цеху подається $3 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ повітря за вологості 80% та температури 15°C . Яку кількість води потрібно додатково випарувати, щоб за температури 18°C вологість повітря в цеху становила 60%.
- 4.25. Комфортними умовами праці в цеху є температура 18°C за відотною вологості 50%. Для цього необхідно подати $2 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ повітря, забираючи його з вулиці за 10°C і відносній вологості 60%. Скільки потрібно додатково випарувати води у приміщення? Густина насиченої водяної пари при 10°C становить $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а при 18°C – $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.

- 4.26. Під час кондиціонування повітря в цеху з вулиці подано $3 \cdot 10^4 \text{ м}^3$ повітря за температури 10°C . Визначити вологість повітря, що подається до цеху, якщо в цеху для встановлення вологості 60% за температури 18°C випарилось 26 кг води. Густина насиченої водяної пари за 10°C становить $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$, а за 18°C – $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$.
- 4.27. До сушильного агрегату помістили матеріал, з якого треба видалити 300 кг води. До сушильного агрегату подається зовнішнє повітря за температури 10°C і відносної вологості 40% . На вході до агрегату повітря підігрівається. Підігріте повітря проходить через сушильний агрегат та виходить з нього за температури 40°C і відносній вологості 85% . Визначити кількість повітря, яке треба пропустити через сушильню.
- 4.28. У замкненому приміщенні об'ємом 60 м^3 для утворення насиченої пари за температури 18°C випарували $0,5 \text{ кг}$ води. Густина насиченої водяної пари за 18°C становить $15,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Визначити початкову вологість повітря.
- 4.29. У замкненому приміщенні об'ємом 60 м^3 відносна вологість повітря становить 50% за температури 18°C . Тиск насичених водяних парів за 18°C становить $2066,15 \text{ Па}$. Скільки води необхідно випарувати у цей об'єм, щоб водяна пара стала насиченою?
- 4.30. Манометр котла показує тиск 200 кПа . Вважаючи пару насиченою, визначити її температуру та питомий об'єм.
- 4.31. Визначити тиск насиченої водяної пари у системі парового опалення за температури 105°C , вважаючи пару ідеальним газом.
- 4.32. Визначити густину насиченої пари води за температури $45,4^\circ\text{C}$ і $151,1^\circ\text{C}$. У скільки разів густина насиченої водяної пари у системі парового опалення за температури $200,4^\circ\text{C}$ більше від густини насиченої водяної пари за 100°C ?
- 4.33. Щоб отримати пару в системі для пропарювання бетону, воді, що кипить при нормальному атмосферному тиску, надають певну кількість теплоти. Скільки вугілля треба спалити, щоб перетворити на пару 10 кг води?
- 4.34. У 1 м^3 повітря за температури 20°C міститься $8,3 \text{ г}$ водяної пари. За якої температури почнеться конденсація у пористому матеріалі – бетоні, якщо діаметр каналів (пор) у ньому дорівнює 27 мкм ?
- 4.35. Через кожух підігрівника бойлерної установки, яка містить 12 л води за температури 12°C , пропускають насичену водяну пару за 100°C . Якою буде температура конденсату, що витікає, якщо для підвищення температури до 50°C потрібно затратити $0,8 \text{ кг}$ пари.

- 4.36. У конденсаторі, що є циліндричною посудиною з поршнем, знаходиться насичена водяна пара за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Під час повільного руху поршня частина пари масою $0,1\text{ г}$ конденсується. Яку роботу було виконано над парою? Вагою поршня знехтувати, а пару вважати ідеальним газом.
- 4.37. Термос заповнений киплячою водою та герметично закритий кришкою. Яка сила буде потрібна (після охолодження термоса) для того, щоб витягнути пробку діаметром 3 см ? Тертям знехтувати. Атмосферний тиск становить 10^5 Па . Тиск пари над водою після охолодження вважати дуже малим.
- 4.38. Приготування їжі в каструлі-скороварці відбувається за температури $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. За даної температури тиск насиченої водяної пари становить $2\cdot 10^5\text{ Па}$. У скільки разів густина водяної пари за таких умов більша, ніж над поверхнею киплячої води у відкритій каструлі?
- 4.39. Знайти питомий об'єм насиченої водяної пари у паросиловій установці за нормального тиску, якщо відомо, що зменшення тиску на $3,2\text{ кПа}$ призводить до зменшення температури кипіння води на $0,9\text{ К}$.
- 4.40. Під час зараження повітря в кімнаті об'ємом 90 м^3 парами ртуті, тиск насиченої пари ртуті становив $0,15\text{ Па}$ за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яка маса ртуті була розлита в кімнаті?
- 4.41. Знайти густину масла в гідравлічній системі преса при тиску 50 МПа , якщо його густина за $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску 101 кПа дорівнює 910 кг/м^3 , а коефіцієнт стиснення $\beta = 6\cdot 10^{-10}\text{ м}^2/\text{Н}$.

Розділ 5. Явища, які протікають на межі поділу фаз

Основні формули

Коефіцієнт поверхневого натягу

Коефіцієнт поверхневого натягу чисельно дорівнює силі, яка прикладена до одиниці довжини краю поверхні плівки рідини:

$$\alpha = \frac{F}{\ell},$$

де F – сила поверхневого натягу рідини; ℓ – довжина периметру поверхні плівки.

Енергія поверхневого шару рідини

Під час зміни площі плівки рідини на ΔS відбувається зміна енергії поверхневого шару:

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S,$$

де ΔS – зміна площі поверхні плівки.

Додатковий тиск, створений кривизною поверхні рідини

(формула Лапласа):

Додатковий тиск, який викликаний кривизною поверхні рідини, визначається формулою Лапласа:

$$\Delta P = \alpha \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де R_1 та R_2 – радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних перетинів поверхні рідини.

Висота підняття рідини в капілярі

$$h = \frac{2\alpha \cos \Theta}{r \cdot \rho \cdot g},$$

де Θ – кут змочування; r – радіус трубки капіляра; ρ – густина рідини; g – прискорення вільного падіння.

Осмотичний тиск розчину

(закон Вант – Гоффа)

Осмотичний тиск розчину пов'язаний з його абсолютною температурою за формулою Вант-Гоффа

$$p = CRT,$$

де $C = \frac{m}{\mu V}$; m – маса; μ – молярна маса; V – об'єм; R – універсальна газова стала; T – температура.

Задачі до розділу „Явища, які протікають на межі поділу фаз”

- 5.1. Спирт, крапля за краплею, витікає із посудини через вертикальну трубку діаметром 2 мм. Крапельки відриваються одна за одною з інтервалом в 1 с. Через який час витече 10 г спирту? Вважати діаметр шийки краплі на момент відриву рівним діаметру трубки.
- 5.2. Вода, крапля за краплею, витікає із посудини через вертикальну трубку діаметром 3 мм. Під час охолодження води від 100 °С до 20 °С маса краплі змінилася на $13,5 \cdot 10^{-6}$ кг. Знаючи коефіцієнт поверхневого натягу води при 20 °С, знайти коефіцієнт поверхневого натягу води за 100 °С. Діаметр шийки краплі вважати рівним діаметру трубки.
- 5.3. Із вертикальної трубки з внутрішнім діаметром 2 мм витікає вода. Знайти радіус краплі на момент відриву. Краплю вважати сферою. Діаметр шийки краплі вважати рівним діаметру трубки.
- 5.4. Виділяється чи поглинається енергія під час злиття двох однакових крапель в одну? Оцінити цю енергію.
- 5.5. Яку роботу проти сил поверхневого натягу необхідно виконати, щоб видути мильну кульку діаметром 4 см? Коефіцієнт поверхневого натягу $\alpha = 4,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м?
- 5.6. Визначити тиск повітря в повітряній кульці діаметром 10^{-2} мм, яка знаходиться на глибині 20 см під поверхнею води.
- 5.7. Знайти, на якій глибині знаходиться повітряна кулька, якщо густина повітря в ній 2 кг/м³. Діаметр кульки $1,5 \cdot 10^{-2}$ мм, температура 20 °С і атмосферний тиск 760 мм.рт.ст.
- 5.8. Під час визначення величини коефіцієнта поверхневого натягу методом крапель, число крапель води, які витекли з капіляра за час досліду дорівнює 20. Загальна маса крапель 0,937 г визначалась з точністю до

$\Delta m = 1 \cdot 10^{-3}$ г. Діаметр шийки капіляра 1,9 мм визначався з точністю до 10^{-1} мм. Вирахувати коефіцієнт поверхневого натягу, та його відносну похибку.

- 5.9. Визначити величину коефіцієнта поверхневого натягу і його відносну похибку для розчину, якщо для відривання від поверхні води кільця (прямокутного перерізу) з діаметром $d_b = 56$ мм і $D_z = 60$ мм була прикладена сила $3,5 \cdot 10^{-2}$ Н. Сила визначалась важільними терезами з точністю $2 \cdot 10^{-2}$ Н, а діаметри кільця – штангенциркулем з точністю до 10^{-1} мм.
- 5.10. На поверхню води поклали сталю голку, змащену жиром. Який найбільший діаметр голки, при якому вона ще може триматися на воді?
- 5.11. На скільки градусів зменшиться температура краплі після злиття, якщо крапельки були діаметром 1 мм кожна?
- 5.12. Безперервне поливання кімнатних квітів можна зробити за допомогою гніту (марлевого джгута). Підрахувати найбільшу різницю рівнів в посудині та вазоні, за якої можливе поливання. Пори гніту вважати циліндричними трубками діаметром 0,1 мм. Змочування вважати повним.
- 5.13. Який розмір повинні мати капіляри дерева висотою 15 м, щоб забезпечити вологою верхні листочки? Капіляри вважати циліндричними трубками, а змочування повним.
- 5.14. Дві однакові паралельні пластини занурені у воду так, що між ними утворюється відстань 0,3 мм. На яку висоту підніметься вода, якщо змочування буде повним?
- 5.15. Крапля води $m = 10^{-4}$ кг знаходиться між двома паралельними і плоскими пластинами із скла. Чому дорівнює сила притягання між пластинами, якщо відстань між ними дорівнює 10^{-6} м. Змочування вважати повним.
- 5.16. Визначити висоту підняття рідини біля нескінченної пластини, що змочується рідиною. Крайовий кут Θ , а коефіцієнт поверхневого натягу α .
- 5.17. Барометрична трубка заповнена ртуттю і має внутрішній діаметр, що дорівнює: а) 5 мм; в) 1,5 см. Чи можливо визначити атмосферний тиск безпосередньо за висотою ртутного стовпчика? Знайти висоту ртутного стовпчика в кожному із випадків, якщо атмосферний тиск 760 мм рт.ст. Незмочування вважати повним.
- 5.18. Яку відносну похибку ми допускаємо при вимірюванні атмосферного тиску за висотою ртутного стовпчика, якщо зовнішній тиск 760 мм рт.ст., а діаметр барометричної трубки: а) 5 мм; в) 10 мм. Незмочування вважати повним.
- 5.19. У дні посудини із ртуттю є отвір. Який найбільший діаметр отвору, якщо ртуть висотою 5 см не виливається?

- 5.20. Ареометр плаває у воді, яка повністю змочує його стінки. Діаметр циліндричної трубки ареометра дорівнює 9 мм. На скільки зміниться глибина занурення ареометра, якщо на поверхню води налити декілька крапель спирту?
- 5.21. Для визначення поверхневого натягу рідини зважують краплі, які відриваються від капіляра і вимірюють діаметр шийки краплі в момент відриву. Виявилося, що 318 краплин рідини мають масу 5 г при діаметрі шийки 0,7 мм. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу цієї рідини.
- 5.22. Два маленьких мильних пазирі радіусами R_1 і R_2 зливаються в один радіусом R_3 . Знайти коефіцієнт поверхневого натягу мильної плівки, якщо атмосферний тиск p_0 .
- 5.23. Дві скляні пластинки шириною b розташовані вертикально у рідині так, що вони утворюють клин з малим кутом β . Густина рідини ρ , коефіцієнт поверхневого натягу рідини α , а крайовий кут – Θ . Складіть рівняння поверхні рідини між пластинами.
- 5.24. Оцінити осмотичний тиск етилового спирту масою $8 \cdot 10^{-3}$ кг (C_2H_6O), розчиненого у 0,2 кг води за температури 294 К. Дисоціацією молекул знехтувати.
- 5.25. Яким має бути середній розмір пор у будівельному матеріалі, щоб вода, за умови повного змочування, піднялася у ньому на 2 см?
- 5.26. На яку висоту підніметься гас у бетонній плиті, якщо середній розмір пор у бетоні $2,4 \cdot 10^{-4}$ м. Змочування вважати повним.
- 5.27. При контакті з цеглою вода піднімається на висоту 10 см. Вважаючи пори циліндричними трубками, а змочування – повним, визначити, яким має бути найбільший діаметр пор у цеглі.
- 5.28. У будівельних матеріалах зустрічаються також і замкнені капіляри. Під час проникнення води тиск повітря в них буде вищий за тиск в атмосфері. Розрахувати розмір замкненої пори, надлишковий тиск у якій становить 20 мм рт. ст. Змочування вважати повним.
- 5.29. У процесі барометричного нівелювання потрібно знати точне значення атмосферного тиску повітря. Діаметр трубки ртутного барометра дорівнює: 5 мм; 15 мм. Знайти висоту ртутного стовпчика в обох випадках, якщо атмосферний тиск 750 мм рт. ст. Температуру вважати, що дорівнює 20 °С, а незмочування повним. Оцінити похибку вимірювання тиску в обох випадках.

- 5.30. Внутрішній діаметр барометричної трубки дорівнює 0,75 см. Яку поправку треба ввести, вимірюючи тиск по висоті ртутного стовпа? Незмочування вважати повним.
- 5.31. Гліцерин піднявся в капілярній трубці з діаметром каналу 1 мм на висоту 20 мм. Визначити коефіцієнт поверхневого натягу гліцерину. Змочування вважати повним.
- 5.32. У воду на дуже малу глибину занурена скляна трубка з діаметром каналу 1 мм. Визначити масу води, що ввійшла в трубку.
- 5.33. Наскільки тиск повітря всередині мильної бульбашки більший за нормальний атмосферний тиск, якщо діаметр кульки 5 мм?
- 5.34. Дві мильні бульбашки радіусами 2 см і 3 см зливаються в одну. Визначити енергію, яка виділяється під час такого процесу, якщо коефіцієнт поверхневого натягу дорівнює 0,043 Н/м.
- 5.35. Дві мильні бульбашки радіусами 10 см і 5 см видули на різних кінцях однієї і тієї ж трубки. Якщо бульбашки надати самим собі, то, при зміні радіусу більшої бульбашки на 0,1 см, радіус меншої зміниться на 0,4 см. Наскільки зміниться при цьому потенціальна енергія поверхневого шару системи двох бульбашок?
- 5.36. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб вдвічі збільшити об'єм мильної бульбашки радіусом 1 см? Коефіцієнт поверхневого натягу розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 5.37. Яку роботу проти сил поверхневого натягу потрібно виконати для того, щоб видути мильну бульбашку діаметром 4 см? У скільки разів збільшиться ця робота при збільшенні діаметра мильної бульбашки вдвічі? Коефіцієнт поверхневого натягу мильного розчину вважати рівним 0,043 Н/м.
- 5.38. Повітряна бульбашка діаметром 2,2 мкм знаходиться у воді біля самої її поверхні. Визначити густину повітря всередині бульбашки, якщо повітря над поверхнею води знаходиться за нормальних умов.
- 5.39. Дві краплі ртуті, радіусом 1,2 мм кожна, злились в одну велику краплю. Визначити енергію, що виділиться під час такого злиття. Процес вважати ізотермічним.
- 5.40. Визначити додатковий тиск всередині мильної бульбашки діаметром 10 см. Яку роботу треба виконати для того, щоб видути таку бульбашку?
- 5.41. Визначити, на який глибині під водою знаходиться повітряна бульбашка, якщо відомо, що густина повітря всередині бульбашки становить 2 кг/м³. Діаметр бульбашки 0,015 мм, температура 20 °С, атмосферний тиск 101,3 кПа.

Тема 6. Гідродинаміка

Основні формули

Основне рівняння гідродинаміки ідеальної рідини

(рівняння Ейлера):

У полі тяжіння Землі градієнт тиску в рідині зв'язаний зі швидкістю потоку формулою:

$$\rho \frac{d\mathbf{v}}{dt} = \mathbf{f} - \nabla P,$$

де ρ – густина рідини; $\mathbf{v}$ – швидкість; t – час; $\mathbf{f}$ – об'ємна густина масових сил (для сили ваги $\mathbf{f} = \rho \mathbf{g}$); ∇P – градієнт тиску.

Рівняння Бернуллі

Для стаціонарного потоку ідеальної рідини, яка не стискається, виконується рівняння Бернуллі:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho gh + p = \text{const.}$$

Число Рейнольдса

Характер руху рідини (газу) визначається безрозмірним числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{\rho v \ell}{\eta},$$

де ℓ – характерний розмір (наприклад, діаметр труби); η – в'язкість рідини.

Формула Пуазейля

При ламінарному потоку рідини або газу об'єм, який протікає за час t через капілярну трубку радіусом r і довжиною l , визначається за формулою:

$$Q = \frac{\pi R^4 (p_1 - p_2)}{8\eta \ell},$$

де Q – потік рідини через поперечний переріз труби ($\text{м}^3/\text{с}$); R та ℓ – відповідно радіус та довжина труби; p_1 та p_2 – тиск рідини на кінцях труби.

Сила опору руху кульки в рідині

(формула Стокса)

$$F = 6\pi\eta r v,$$

де r – радіус кульки, v – швидкість рівномірного руху кульки у рідині.

Рівняння неперервності струменя:

Для ламінарного потоку рідини або газу виконується співвідношення між швидкістю потоку і площею поперечного перерізу:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2,$$

де v_1 та v_2 – швидкість потоку рідини в першому і другому перерізі;

S_1 та S_2 – площа поперечного перерізу потоків.

Задачі до розділу „Гідродинаміка”

- 6.1. Воду у шлюзі перекривають щитом-затвором. Ширина каналу 4 м, висота води в каналі 5 м. Визначити силу тиску води на стінку щита та точку її прикладання.
- 6.2. Прямокутний вертикальний щит шлюзової камери, що перегороджує прямокутний канал шириною 4 м знаходиться в пазах. Вага щита 4,9 кН, коефіцієнт тертя 0,5. Визначити роботу для підняття щита, якщо глибина з одного боку 4 м, а з другого 1– м.
- 6.3. У U-подібній посудині є ртуть і вода. Лінія поділу рідин перебуває нижче за рівень вільної поверхні ртуті на 8 см. Визначити різницю рівнів в обох частинах посудини.
- 6.4. З циліндричного бака з площею основи 900 см^2 , у дні якого є невеликий отвір площею $0,4 \text{ см}^2$, рівномірно витікає вода. Визначити рівень води, який спершу був у баку, якщо відомо, що вода витікає за 10 хв.
- 6.5. Розрахувати залежність швидкості витікання рідини з отвору у бічній стінці відкритого і закритого бака від висоти h , на якій зроблено отвір, якщо швидкість зниження рівня рідини у баку дорівнює v .
- 6.6. З відкритого бака вода витікає через малий отвір у його бічній поверхні, розташованій на висоті 1 м від підлоги. Визначити глибину води H у баку, якщо струмінь падає на підлогу на відстані 1,5 м від бака.
- 6.7. Через водопровідну трубу, вигнуту під прямим кутом, за 10 с витікає 5 кг води. Площа поперечного перерізу труби 2 см^2 . Чому дорівнює сила бічного тиску в місці закруглення труби, якщо труба розташована в горизонтальній площині?
- 6.8. Вода рухається у трубопроводі діаметром 25 мм, у якому розміщено дві трубки діаметром 5 мм (рис. 6.1). Визначити швидкість руху води у трубопроводі, якщо різниця рівнів гідродинамічної трубки 0,6 м.

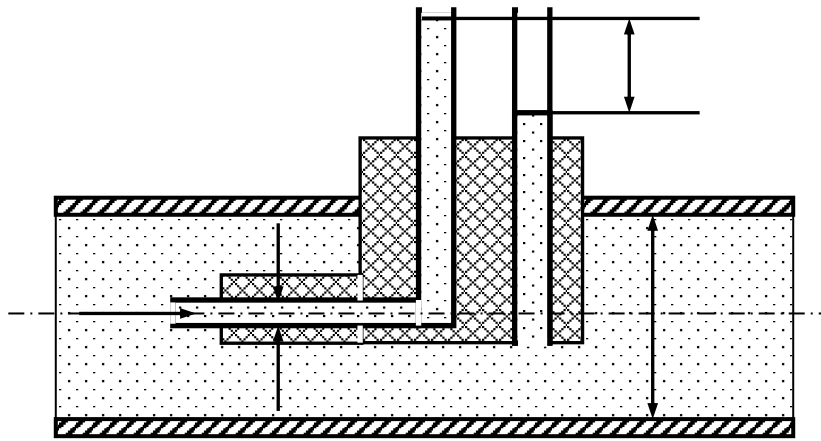


Рис. 6.1

6.9. По трубопроводу довжиною L , який звужується, протікає вода при витраті $27 \text{ м}^3/\text{год}$. Початковий діаметр трубки $d_1=80 \text{ мм}$, кінцевий $d_2=40 \text{ мм}$ (рис. 6.2). Визначити тиск на початку труби, якщо в кінці він складає $2,5 \text{ кПа}$. Довжина труби 10 м , а кут нахилу осі трубопроводу до горизонту 30° . Тертям знехтувати.

6.10. Визначити діаметр звуженої частини горизонтального гідродинамічного трубопроводу, по якому вода підіймається на висоту $h=3,5 \text{ м}$ (рис. 6.3). Витрата води $Q=6 \text{ л/с}$ і діаметр широкої частини манометра $D=10 \text{ см}$.

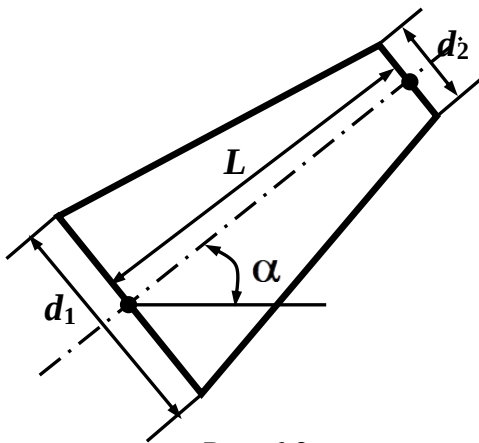


Рис. 6.2

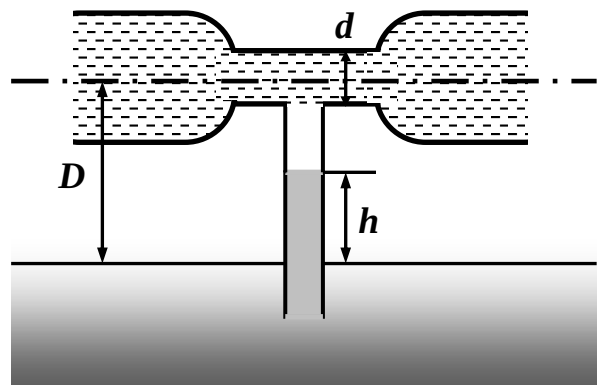
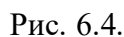


Рис. 6.3

6.11. Поршень у циліндрі водяного насоса піднімає воду з резервуара за різниці рівнів води в циліндрі і резервуарі 3 м . Визначити тиск під поршнем, якщо поршень рухається зі швидкістю 1 м/с .

6.12. Трубка Вентурі дозволяє визначити щосекундну витрату води або газу (рис. 6.4). Площа великого поперечного перерізу S_1 , вузького – S_2 , а покази рідинного манометра P , визначити скільки води проходить через трубку за час t .



-
- The diagram shows a vertical wall of total height H . The top part of the wall is a rectangle of height h , which is shaded gray. Above this rectangle is a liquid of height H_1 . The bottom part of the wall is a curved section of height $H-h$. The wall is supported by a foundation of length L , which is indicated by a horizontal dimension line at the bottom. The foundation is hatched with diagonal lines. The wall is divided into a rectangular part of height h and a curved part of height $H-h$.

49

Визначити: 1) глибину води у баку, якщо струмінь падає на підлогу на відстані $L=1,5$ м від бака; 1) дальність падіння струменя, якщо глибина води $H_1=1,2$ м.

- 6.18. Яку потужність має насос, що забирає воду з колодязя по трубі діаметром 100 мм, якщо його встановлено на висоті 5 м, а тиск вакууму в трубі 50 кПа?
- 6.19. Вода витікає з отвору у дні посудини. Якою має бути форма посудини, щоб швидкість опускання рівня води у посудині була сталою?
- 6.20. Скільки води може щосекунди протікати через водопровідну трубу з внутрішнім діаметром $3 \cdot 10^{-2}$ м при ламінарній течії, якщо $Re_{кр}=2300$?
- 6.21. Свинцева кулька діаметром 1,73 см падає рівномірно у гліцерині. Визначити число Рейнольда. Чи буде рух шарів гліцерину при такому числі ламінарним?
- 6.22. У закритому баку підтримується сталий рівень води $h=1$ м і сталий надлишковий тиск на поверхні води $p=30$ кПа. Визначити діаметр отвору у дні бака, при якому витрата води $Q=1$ л/с. Як потрібно змінити тиск, щоб витрата води через отвір діаметром $d=10$ мм була $Q_1=0,5$ л/с?
- 6.23. Кесон, за допомогою якого виконуються підводні будівельні роботи, занурено у воду на деяку глибину (рис. 6.23). Визначити: 1) надлишковий тиск повітря у робочій камері кесона, якщо глибина занурення $H=30$ м; 2) допустиму глибину занурення кесона, якщо надлишковий тиск у його камері не повинен перевищувати $p=250$ кПа. Атмосферний тиск становить $p_0=100$ кПа, густина води дорівнює $\rho=10^3$ кг/м³.
- 6.24. Жолоб водопровідної системи наповнено до країв. Жолоб має такі розміри: $S=24$ см, $h=26$ см, $l=60$ см (рис. 6.24). Знайти силу тиску на бічну стінку довжиною $a=1$ м.

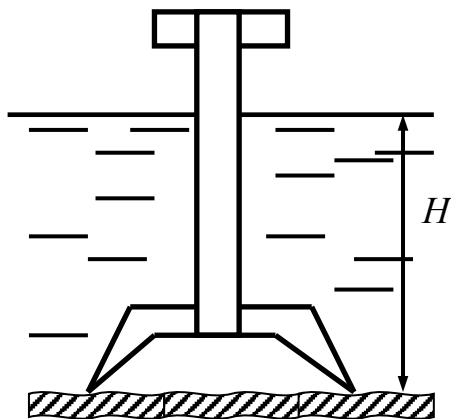


Рис. 6.23

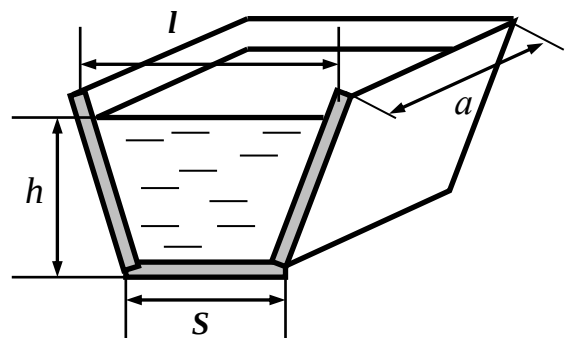


Рис. 6.24

- 6.25. В U -подібну посудину налиті ртуть і вода. Лінія розділу рідин перебуває нижче за рівень вільної поверхні ртуті на $h = 4$ см. Визначити різницю рівнів в обох частинах посудини.
- 6.26. З якою швидкістю понижується рівень води у компенсаційному баку площею поперечного перерізу $S = 1$ м², якщо швидкість витікання води через отвір діаметром $D = 2$ см дорівнює $U = 2$ м/с?
- 6.27. У компенсаційний резервуар водопровідної системи рівномірним струменем наливається вода. Подача води дорівнює $Q = 150$ см³/с. У дні резервуара є отвір площею $S = 0,5$ см². Якого рівня може досягати вода в резервуарі?
- 6.28. З циліндричного бака, площею основи $S_1 = 900$ см², у дні якого є невеликий отвір площею $S_2 = 0,4$ см², рівномірно витікає вода. Визначити рівень води, який спершу був у баку, якщо відомо, що вода витекла за $t = 10$ хв.
- 6.29. У дні відкритого бака зроблено отвір діаметром $D = 12$ мм (рис. 6.29). У бак налито воду до рівня $h = 1,5$ м, який підтримується сталим. Визначити площу поперечного перерізу струменя, що витікає з бака на відстані $H = 3$ м від дна бака. Вважати, що струмінь води не розбризкується.
- 6.30. Із крана виливається вода. Протягом часу $t_1 = 3$ с діаметр струменя зменшується від $d_1 = 3$ см до $d_2 = 2$ см (рис. 6.30). Скільки води можна налити з крана за $t_2 = 60$ с? Вважати, що струмінь води не розбризкується.

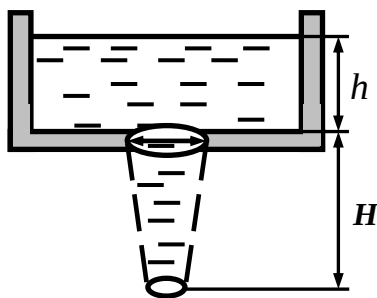


Рис. 6.29

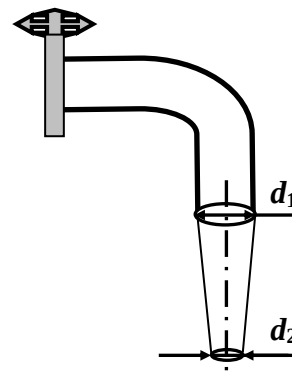


Рис. 6.30

- 6.31. У закритому баку підтримується сталий рівень води $H = 1$ м і сталий надлишковий тиск на поверхні води $p = 30$ кПа. Визначити діаметр отвору в дні бака, при якому витрата води $Q = 1$ л/с. Як потрібно змінити тиск, щоб витрата води через отвір діаметром $D = 10$ мм була $Q_1 = 0,5$ л/с?

6.32. Прямокутний отвір, через який вода пропускається з водойми каналу, має ширину $L = 1$ м. Відстань від нижнього краю отвору до вільної поверхні води у водоймі $H = 2,5$ м (рис. 6.32). Знайти: 1) висоту отвору h для пропускання води, якщо витрата води $Q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$; 2) витрату води, якщо висота отвору $h_1 = 0,5$ м.

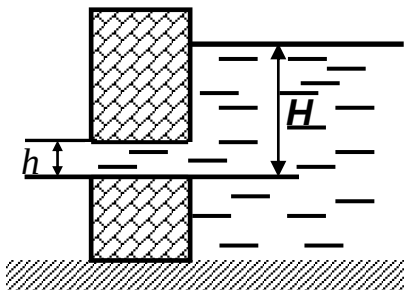


Рис. 6.32

6.33. Вода з водосховища витікає крізь отвір у греблі діаметром $d = 0,5$ м (рис. 6.33). Визначити час, за який рівень води у водосховищі знизиться на $h = 0,5$ м, якщо початковий рівень води $H = 6,5$ м, товщина греблі $L = 2$ м, за умови, що площа дзеркала водосховища не змінюється із зміною рівня та дорівнює $S = 0,224 \text{ км}^2$.

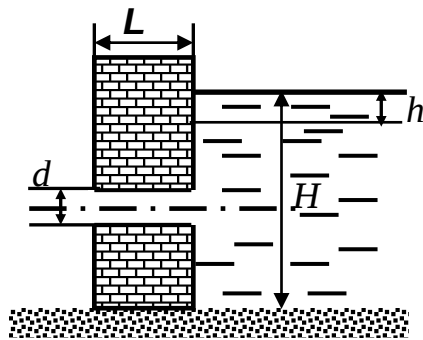


Рис. 6.33

6.34. Вода з водосховища витікає через чотири отвори у греблі, діаметром $d = 0,5$ м кожний. Визначити: 1) час, за який рівень води у водосховищі опуститься на $h_1 = 0,5$ м, якщо початковий рівень води (напір) $H_1 = 6,5$ м. Греблю вважати тонкою стінкою, а поверхню води водосховища – площею $S_1 = 0,224 \text{ км}^2$ – незалежною від зміни рівня; 2) загальний діаметр отворів, при якому рівень води у водосховищі з площею дзеркала $S_2 = 0,185 \text{ км}^2$ опускається на $h_2 = 0,5$ м за $t = 10$ год, якщо початковий напір $H_2 = 6$ м.

6.35. Через водопровідну трубу, вигнуту під прямим кутом, за час $t = 10$ с протікає вода масою $m = 5$ кг. Площа поперечного перерізу труби $S = 2 \text{ см}^2$. Знайти силу бічного тиску в місці закруглення труби, якщо труба лежить в горизонтальній площині.

6.36. Вода, що тече каналом зі швидкістю $U = 5$ м/с, створює додатковий тиск $p = 4$ кПа на бічну стінку каналу при його повороті. Визначити радіус повороту, якщо площа перерізу каналу $S = 0,24 \text{ м}^2$, а висота бічної стінки $h = 0,5$ м.

6.37. У проекті трубопроводу закладено дві паралельні лінії сталевих труб, кожна діаметром $D = 1$ мм. Обчислити мінімальну кількість ліній такого

трубопроводу, якщо використати сталеві труби діаметром $D_1 = 700$ мм або $D_2 = 600$ мм.

- 6.38. Визначити діаметр звуженої частини горизонтального гідродинамічного трубопроводу, по якому вода підіймається на висоту $h = 3,5$ м (рис. 3.3.40). Витрата води $Q = 6$ л/с і діаметр широкої частини манометра $D = 10$ см.
- 6.39. По трубопроводу, що звужується, подається вода при витраті $Q = 27$ м³/год. Визначити тиск у точці O_1 , якщо тиск у точці O_2 дорівнює $p_2 = 250$ кПа (рис. 6.39). Діаметр широкої частини трубопроводу $D_1 = 80$ мм, вузької $D_2 = 40$ мм, довжина $L = 10$ м, кут нахилу осі трубопроводу до горизонту $\alpha = 30^\circ$. Тертям у системі знехтувати.
- 6.40. По трубопроводу, що звужується, подається вода при витраті $Q = 30$ м³/год. Тиск у точці O_1 дорівнює 250 кПа, а тиск у точці O_2 дорівнює 180 кПа (рис. 6.40). Діаметр вузької частини трубопроводу $D_2 = 4$ см, довжина трубопроводу $L = 10$ м, кут нахилу осі трубопроводу до горизонту $\alpha = 30^\circ$. Визначити діаметр широкої частини трубопроводу D_1 . Тертям у системі знехтувати.

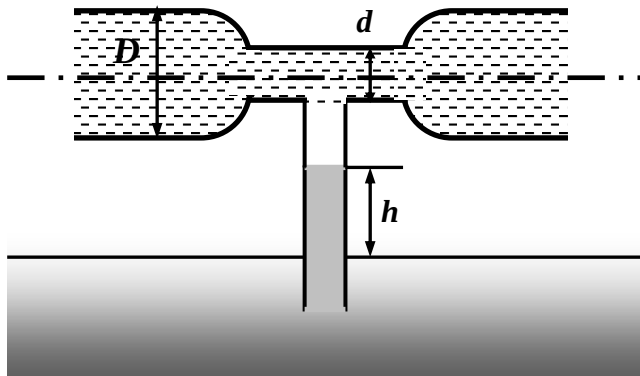


Рис. 6.39

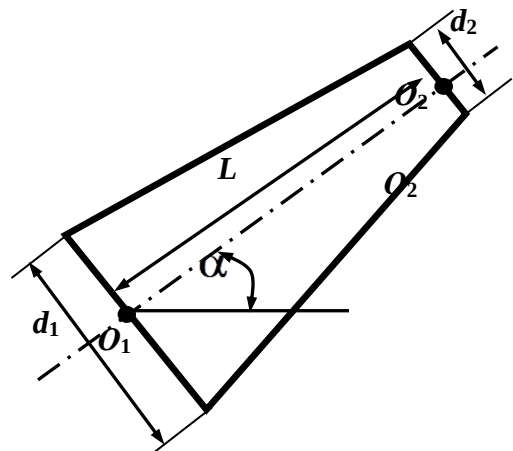


Рис. 6.40

Розділ 2. Приклади розв'язання задач

Задача 3.1. Тонке однорідне півкільце радіуса r має масу m . Знайти силу притягання між цим півкільцем та тілом масою m_0 , яка знаходиться в центрі кривизни півкільця та напруженість гравітаційного поля в центрі кривизни півкільця.

Розв'язання задачі

Дано:

m
 m_0
 r

$F=f(m, m_0, r)$
 Е - ?

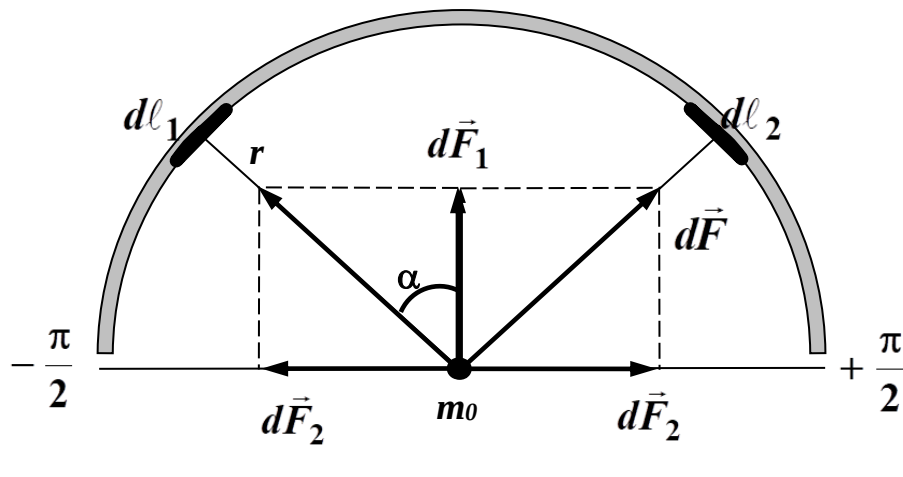


Рис.3.1

Виділимо на півкільці (рис. 3.1) елемент довжини $d\ell$. Маса такого елемента, враховуючи, що півкільце однорідне, буде дорівнювати:

$$dm = \frac{m}{\pi \cdot r} d\ell.$$

Тоді за законом всесвітнього тяжіння сила притягання:

$$dF = G \frac{m_0 \cdot m}{\pi \cdot r^3} d\ell.$$

Розкладемо силу $d\vec{F}$ на дві складові $d\vec{F}_1$ та $d\vec{F}_2$. Візьмемо симетрично елемент $d\ell_2$ елементу $d\ell$ (рис. 3.2), тоді сили $d\vec{F}_2$ в сумі дають нуль, а сили $d\vec{F}_1$ співпадають за напрямком і векторну суму цих сил можна замінити алгебричною сумою.

Очевидно:

$$F = \sum F_1 = \int_{\ell} dF \cdot \cos \alpha = \int_{\ell} G \frac{m_o \cdot m \cdot d\ell \cos \alpha}{\pi r^3} = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^3} \int_{\ell} \cos \alpha \cdot d\ell.$$

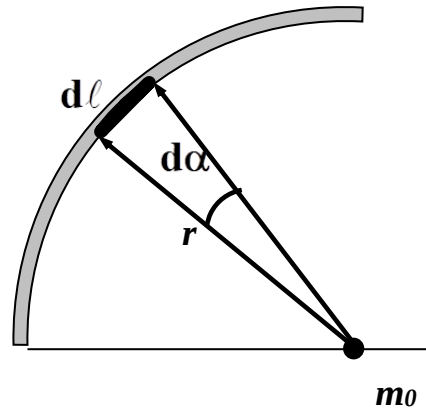


Рис.3.2

Із рис.3.2 видно, що $d\ell = r \cdot d\alpha$, тоді:

$$F = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^3} \int_{\ell} r \cdot \cos \alpha \cdot d\alpha = G \frac{m_o \cdot m}{\pi r^2} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \alpha \cdot d\alpha = G \frac{2m_o \cdot m}{\pi r^2}.$$

Напруженість гравітаційного поля визначається за формулою:

$$E = \frac{F}{m_o} \quad \text{або} \quad E = G \frac{2m}{\pi \cdot r^2}.$$

Відповідь: $F = G \frac{2m_o \cdot m}{\pi \cdot r^2}; E = G \frac{2m}{\pi \cdot r^2}.$

Задача 3.2. Яку частку енергії випромінює Земна куля, яку вона отримує від Сонця за 1 с, якщо температура поверхні Землі 0°C і коефіцієнт поглинання дорівнює 1? Сонячна стала дорівнює $C=1,3 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$.

Дано:

$t=1 \text{ с}$

$T=273 \text{ К}$

$C=1,3 \text{ кДж/м}^2\cdot\text{с}$

$n=?$

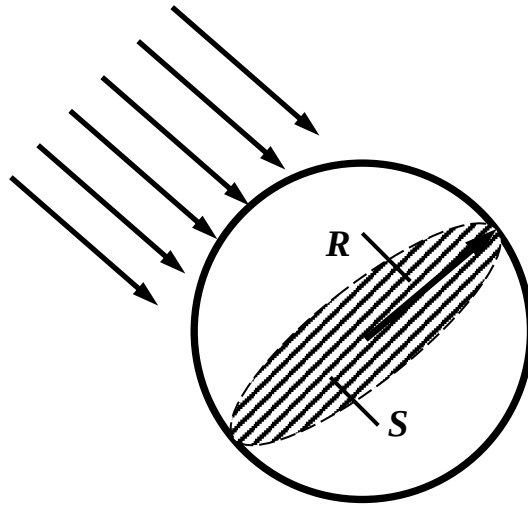


Рис. 3.3

Розв'язання задачі

Сонячна стала – це енергія, яку приносять сонячні промені за 1 с на площу 1 м^2 , що знаходиться поза атмосферою Землі, перпендикулярно до сонячних променів на середній відстані Землі від Сонця.

Тоді, енергія, яку поглинає Земля за одну секунду дорівнює добутку сонячної сталої на площу $S = \pi R^2$ (R – радіус Землі) великого кола сфери Землі (рис. 3.3).

Тоді поглинута енергія дорівнює:

$$E_{\text{пог}} = C \cdot S = C \cdot \pi R^2.$$

Енергію, яку випромінює Земля за цей період можна визначити таким чином:

$$E_{\text{випр}} = S \cdot R_e = 4\pi R^2 \cdot \sigma T^4.$$

Згідно з законом Стефана = Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4, \text{ де } R_e = \frac{E}{S \cdot t}.$$

Врахувавши, що $t=1 \text{ с}$, знайдемо відношення $E_{\text{випр}}$ до $E_{\text{пог}}$:

$$n = \frac{E_{\text{випр}}}{E_{\text{пог}}} = \frac{4\pi R^2 \sigma T^4}{C \pi R^2} = \frac{4\sigma T^4}{C}.$$

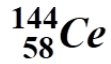
Після розрахунків маємо: $n=0,9$.

Відповідь: $n=0,9$

Задача 3.3. Визначити, яка кількість ядер в 1 мг ізотопу церію $^{144}_{58}\text{Ce}$ розпадається за час: 1) $\Delta t_1 = 1 \text{ с}$; 2) $\Delta t_2 = 1 \text{ рік}$? Період напіврозпаду церію $T = 285$ діб.

Розв'язання задачі

Дано:



$$m_0 = 10^{-6} \text{ кг}$$

$$\Delta t_1 = 1 \text{ с}$$

$$\Delta t_2 = 1 \text{ рік} = 3,15 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$T_{1/2} = 285 \text{ діб} = 2,46 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$\Delta N_1 - ? \quad \Delta N_2 - ?$$

1) Процес радіоактивного розпаду носить статистичний характер. Тому при $\Delta t_1 \ll T$ можна вважати, що число ядер, які не розпалися, залишається практично постійним і дорівнює початковому числу ядер N_0 . Для знаходження числа ядер, які розпалися ΔN запишемо закон радіоактивного розпаду у такому вигляді:

$$\Delta N = \lambda N_0 \Delta t.$$

Стала радіоактивного розпаду пов'язана з періодом напіврозпаду таким чином:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}.$$

Тоді маємо:

$$\Delta N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot N_0 \Delta t.$$

Число атомів N_0 у $m_0 = 1 \text{ г}$ церію знайдемо із співвідношення:

$$N_0 = \frac{m_0}{\mu} \cdot N_A,$$

де N_A – число Авогадро; μ – молярна маса атома $^{144}_{58}\text{Ce}$.

Врахувавши формулу для N_0 , одержимо:

$$\Delta N = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m_0 N_A \Delta t}{\mu}.$$

Після розрахунків маємо: $\Delta N_1 = 1,2 \cdot 10^{11}$ атомів.

2) При $\Delta t_1 \approx T$ маємо можливість використати закон радіоактивного розпаду у такому вигляді:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 - N_0 \cdot e^{-\lambda \Delta t_2} = N_0 (1 - e^{-\lambda \Delta t_2}).$$

Виражаючи:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}, N_o = \frac{m_o}{\mu} \cdot N_A \text{ та } e^{\ln 2} = 2,$$

маємо:

$$\Delta N_2 = \frac{N_A m_o}{\mu} \left(1 - e^{-\frac{\ln 2 \cdot \Delta t_2}{T}} \right) = \frac{N_A m_o}{\mu} \left(1 - 2^{-\frac{\Delta t_2}{T}} \right).$$

Після розрахунків маємо: $\Delta N_2 = 2,5 \cdot 10^{18}$ атомів.

Відповідь: $\Delta N_1 = 1,2 \cdot 10^{11}$, $\Delta N_2 = 2,5 \cdot 10^{18}$.

Задача 3.4. Знайти коефіцієнт дисоціації водного розчину калію (KCl) з концентрацією $C = 0,1 \text{ г/см}^3$. Питомий опір такого розчину $\rho = 7,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ при 18°C , рухомість іонів K^+ та Cl^- за цієї температури дорівнюють відповідно $U_+ = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ та $U_- = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$.

Дано:

KCl

$$C = 0,1 \text{ г/см}^3 = 10^2 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho = 7,4 \cdot 10^{-2} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$U_+ = 6,7 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

$$U_- = 6,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$$

α - ?

Розв'язання задачі

Коефіцієнт дисоціації можна визначити за формулою залежності електропровідності від рухомості іонів:

$$\sigma = q \cdot \alpha \cdot n_0 (U_+ + U_-),$$

$$\text{де } \sigma = \frac{1}{\rho} \text{ та } \frac{1}{\rho} = q \cdot \alpha \cdot n_0 (U_+ + U_-).$$

Оскільки, іони K^+ та Cl^- є одновалентними, то заряд іона дорівнює заряду електрона: $q = e$.

Знайдемо невідому концентрацію розчину:

$$n_0 = \frac{N}{V},$$

де N – загальне число пар іонів, V – об'єм.

$$\text{З другого боку, концентрація розчину } C = \frac{m}{V},$$

Тоді:

$$n_0 = \frac{CN}{m}.$$

Число N можна виразити зі співвідношення:

$$N = \frac{m}{\mu} \cdot N_A,$$

де N_A – число Авогадро; μ – молярна маса KCl , $\mu = 74 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Тоді:

$$n_0 = \frac{CN_A}{\mu}.$$

Отже:

$$\frac{1}{\rho} = e \cdot \alpha \cdot \frac{CN_A}{\mu} (U_+ + U_-).$$

Остаточного маємо:

$$\alpha = \frac{\mu}{e \cdot C \cdot N_A (U_+ + U_-)}.$$

Після розрахунків маємо: $\alpha = 0,8$.

Відповідь: $\alpha = 0,8$.

Задача 3.5. На площі 400 км^2 за 10 хв випало 20 мм води у вигляді дощу. Підрахувати енергію та потужність тепловиділення від злиття крапель під час дощу, якщо краплі мають середній діаметр 3 мм поблизу Землі та утворюються з більш малих крапель діаметром $3 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$.

Розв'язання задачі

Енергію, яка виділяється під час злиття однієї краплі з n малих крапель можна визначити за формулою:

$$\Delta E = \alpha \cdot \Delta S = \alpha (nS_1 - S_2),$$

де S_1 – площа поверхні малих крапель;

S_2 – площа поверхні великої краплі;

α – коефіцієнт поверхневого натягу води.

Площу малої краплі можна визначити так:

$$S_1 = 4\pi r^2.$$

Площу великої краплі можна визначити як:

$$S_2 = 4\pi R^2,$$

$$\text{де } r = \frac{d}{2}, \quad \text{а} \quad R = \frac{D}{2}.$$

Дано:

$$S = 4 \cdot 10^8 \text{ м}^2$$

$$t = 600 \text{ с}$$

$$h = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$D = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$d = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

$E - ?, P - ?$

Так як об'єм n малих крапель дорівнює об'єму великої краплі, та можемо записати:

$$n \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad \text{або} \quad n = \frac{R^3}{r^3}.$$

Тоді:

$$\Delta E = \alpha(n \cdot 4\pi r^2 - 4\pi R^2) = \alpha \cdot 4\pi \left(\frac{R^3}{r^3} \cdot r^2 - R^2 \right) = 4\pi \alpha R^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right).$$

Для визначення повної енергії, яка виділяється необхідно знайти число великих крапель N , які випали у вигляді дощу:

$$N = \frac{V_{\text{заг}}}{V_2},$$

$$\text{де} \quad V_{\text{заг}} = S \cdot h, \quad V_2 = \frac{4}{3} \pi R^3.$$

Тоді N :

$$N = \frac{3Sh}{4\pi R^3}.$$

Отже:

$$E = N \cdot \Delta S = \frac{3Sh}{4\pi R^3} \cdot \alpha \cdot 4\pi R^2 \left(\frac{R}{r} - 1 \right) = \frac{3\alpha Sh}{R} \left(\frac{R}{r} - 1 \right).$$

Або, врахувавши зв'язок між радіусом та діаметром крапель, маємо:

$$E = \frac{6\alpha Sh}{D} \left(\frac{D}{d} - 1 \right).$$

Потужність – відношення енергії до часу:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{6\alpha Sh}{Dt} \left(\frac{D}{d} - 1 \right).$$

Після розрахунків маємо: $E=1,168 \cdot 10^{12}$ Дж; $P=1,95 \cdot 10^6$ кВт.

Відповідь: $E=1,168 \cdot 10^{12}$ Дж; $P=1,95 \cdot 10^6$ кВт.

Задача 3.6. Визначити початкову активність радіоактивного препарата ^{27}Mg масою $0,2 \cdot 10^{-9}$ кг, а також його активність через 6 годин.

Дано:	Розв'язання задачі:
$m = 0,2 \cdot 10^{-9}$ кг	Активність радіоактивного препарата
$t = 6 \text{ год} = 2,16 \cdot 10^4$ с	визначається за формулою:
$T_{1/2} = 10 \text{ хв} = 600$ с	$A = \lambda N .$
$\mu = 24 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	Згідно з законом радіоактивного розпаду:
$A_0 - ?$	$N = N_0 e^{-\lambda t},$
$A - ?$	отже,
	$A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}. \quad (1)$

Початкову активність препарата отримаємо за $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0. \quad (2)$$

Початкову кількість ядер ^{27}Mg знайдемо, знаючи його масу, за формулою:

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A. \quad (3)$$

Постійна радіоактивного розпаду зв'язана з періодом напіврозпаду за формулою:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \quad (4)$$

За урахування (3) та (4), формули (1) та (2) набувають вигляду:

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A, \quad A = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}.$$

Перевіримо розмірність:

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{1}{T_{1/2}} N_A = \text{моль} \times \frac{1}{\text{с}} \times \frac{1}{\text{моль}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Бк}.$$

Підставимо значення в останню формулу:

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \frac{0,693}{600} 6,02 \cdot 10^{23} = 5,13 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$$

$$A = 5,13 \cdot 10^{12} \cdot e^{-\frac{0,693}{600} 2,16 \cdot 10^4} = 81,3 \text{ Бк}.$$

Відповідь: Початкова активність радіоактивного препарату ^{27}Mg масою $0,2 \cdot 10^{-9}$ кг $5,13 \cdot 10^{12}$ Бк, а його активність через 6 год дорівнює 81,3 Бк.

Задача 3.7. Визначити витрату рідини Q густиною ρ , що протікає вздовж горизонтальної трубки змінного перерізу через різницю рівнів рідини h у двох манометричних трубках скляного вимірника витрати рідини. Величини площі перерізу трубки – S_1 і S_2 (рис. 3.7).

Дано:

h

ρ

S_1

S_2

$Q - ?$

Q – це кількість рідини, що виливається або проходить через переріз труби за одиницю часу.

Порівняємо Q у перерізі S_1 та S_2 :

$$\rho v_1 \cdot S_1 = \rho v_2 \cdot S_2 = Q \quad (1)$$

і застосуємо рівняння Бернуллі:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2.$$

Так як висота рівнів на перерізі S_1 та S_2 однакова, то маємо:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2. \quad (2)$$

Розв'язання задачі

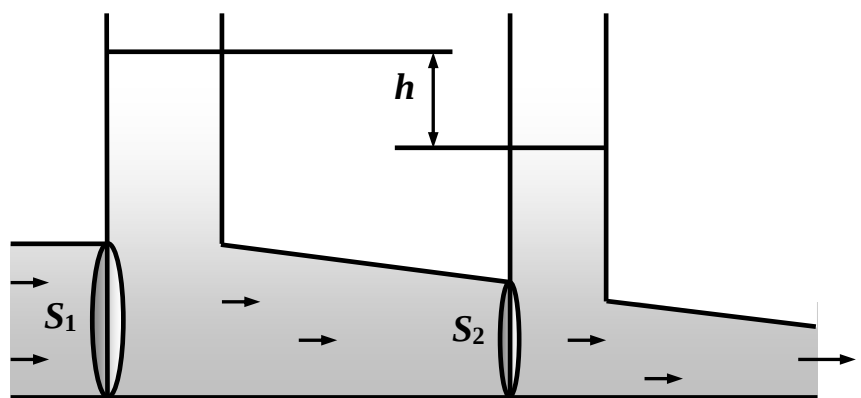


Рис. 3.7

Розв'язавши систему рівнянь (1) та (2), одержимо:

$$v_1 = S_2 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}, \text{ та } v_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}.$$

Але:

$$p_1 - p_2 = \rho gh,$$

тоді:

$$Q = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2\rho gh}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}} = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}}.$$

$$\text{Відповідь: } Q = \rho S_1 S_2 \sqrt{\frac{2gh}{S_1^2 - S_2^2}}.$$

Розділ 3. Лабораторний практикум

Лабораторна робота 11. ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОГЛИНАННЯ СВІТЛА ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК У РОЗЧИНАХ

Мета роботи — вивчити закономірності поглинання світла середовищами; визначити коефіцієнт поглинання та концентрації домішок у розчинах.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: явища поглинання світла, закон Бугера, особливості поглинання світла розчинами [1, т.1, §6.5; 2, §§ 187,194 – 196, 225,259,261; 4, т.2, §§ 141, 145, т.3, §§ 87-90].

Електромагнітна (світлова) хвиля є потоком енергії, який під час взаємодії з частинками речовини поглинається, переходячи в енергію коливання електричних зарядів в атомах та молекулах.

Ослаблення інтенсивності світлового потоку відбувається внаслідок цілої низки фізичних процесів, зокрема, завдяки розсіюванню та поглинанню світлових квантів. Поглинанням світла називається явище втрати енергії світлових хвиль, які проходять через речовини, внаслідок перетворення енергії хвилі в різні форми внутрішньої енергії речовини.

Внаслідок поглинання світла інтенсивність світла зменшується. Нехай на пластинку товщиною x падає світло інтенсивністю I_0 (рис. 11.1). Виділимо в пластинці прошарок товщиною dx . Тоді спад інтенсивності під час проходження світловим потоком прошарку буде dI . Величина

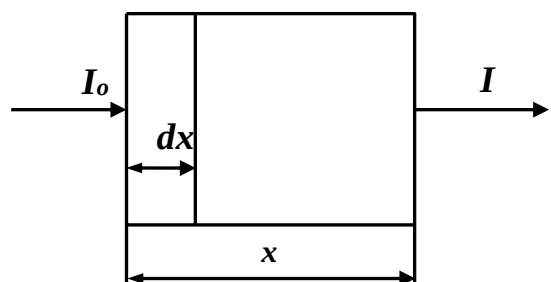


Рис. 11.1

dI прямо пропорційна потоку I , що падає на ділянку товщиною dx :

$$dI = -kI dx,$$

де k — коефіцієнт ослаблення світлового потоку або коефіцієнт поглинання. Знак „ $-$ ” вказує, що інтенсивність зменшується у процесі проходження світловим потоком прошарку.

Розділивши змінні та інтегруючи, маємо:

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^x k dx, dI = -kI dx$$

або

$$I = I_0 e^{-kx}.$$

Ця залежність носить назву закону Бугера. Коефіцієнт поглинання світла k залежить від довжини хвилі λ (або частоти ν) і для різних речовин різний.

Нехай ми маємо монохроматичний потік світла. Його інтенсивність після проходження прошарку розчину товщиною d_1 буде:

$$I_1 = I_0 e^{-kd_1}. \quad (11.1)$$

А при товщині прошарку розчину d_2 :

$$I_2 = I_0 e^{-kd_2}. \quad (11.2)$$

Розділивши (11.1) на (11.2), отримаємо:

$$\frac{I_1}{I_2} = e^{k(d_2 - d_1)}. \quad (11.3)$$

Прологарифмуємо цей вираз (11.3):

$$\ln \frac{I_1}{I_2} = k(d_2 - d_1).$$

Звідки:

$$k = \frac{\ln \frac{I_1}{I_2}}{d_2 - d_1}. \quad (11.4)$$

Коефіцієнт поглинання можна визначити і простіше, якщо відоме значення I_0 . Для цього із формули (11.1) знайдемо відношення I_1/I_0 :

$$\frac{I_1}{I_0} = e^{-kd_1}.$$

Логарифмуючи цей вираз знайдемо I_0/I_1 :

$$\ln \frac{I_0}{I_1} = kd_1.$$

Звідси:

$$k = \frac{\ln \frac{I_0}{I_1}}{d_1}. \quad (11.5)$$

Коефіцієнт поглинання розчинів буде залежати від концентрації домішок, які збільшують поглинання та розсіювання світла:

$$k = C \cdot n, \quad (11.6)$$

де C – коефіцієнт пропорційності; n – концентрація домішок в розчині.

Якщо один раз використати розчин з відомою концентрацією домішок n_0 , то надалі можна досліджувати розчини з невідомою концентрацією. Згідно з рівнянням (11.6) для відомої концентрації n_0 та невідомої концентрації n_x відповідно маємо:

$$k_0 = C \cdot n_0 \quad \text{та} \quad k_x = C \cdot n_x.$$

Тоді:

$$n_x = \frac{k_x}{C} = \frac{k_x}{k_0} n_0. \quad (11.7)$$

Опис приладу

Прилад для вимірювання коефіцієнтів поглинання та концентрації домішок у розчинах складається з таких частин (рис. 11.2):

1–газовий лазер; **2**–джерело живлення лазера; **3**–дзеркало; **4**–кювета з розчином; **5**–приймальне вікно; **6**–мікроамперметр; **7**–регулюючий поляроїд.

Світло від лазера (**1**), після відбивання від дзеркала (**3**), попадає через приймальне вікно (**5**) на фотоелемент. Величину світлового потоку, або силу світла I реєструють за допомогою мікроамперметра (**6**). Інтенсивність початкового світлового потоку (I_0) можна відрегулювати за допомогою поляроїда (**7**), використовуючи той факт, що промінь лазера є поляризованим світлом.

Хід роботи

Перед початком роботи ознайомитись з правилами роботи з квантовим генератором (лазером).

1. Включити лазер в електромережу. Почекаати 3-4 хв до моменту включення лазера.

2. Для того, щоб прокалібрувати прилад, встановлюють інтенсивність неослабленого світлового потоку I_0 . Для цього необхідно поставити кювету без розчину і спрямувати промінь так, щоб він падав нормально на вікно приймача (рис. 11.2), а покази приладу відповідали 100 поділкам.
3. Виміряти товщину прошарку розчину d і поставити кювету на приймальне віконце фотоелемента так, щоб промінь проходив вздовж всього стовпчика розчину. Зробити замір показів приладу (I).

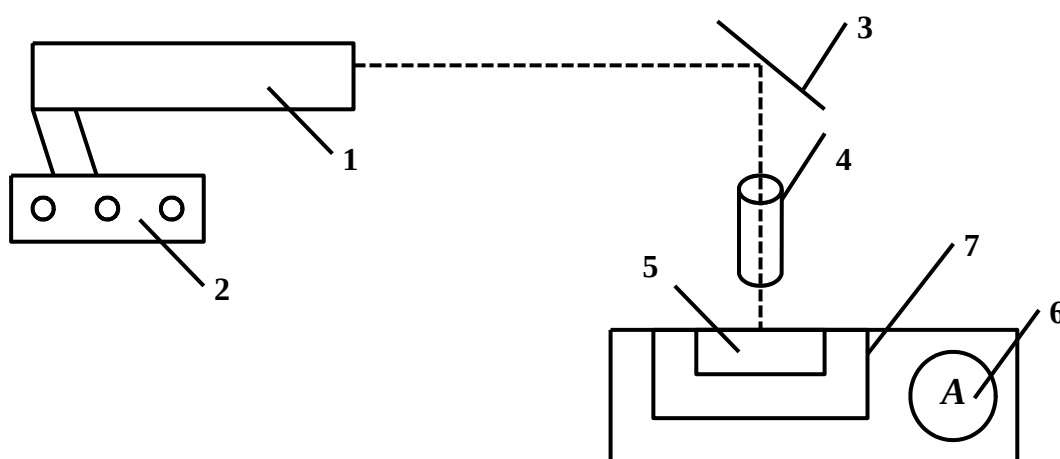


Рис. 11.2

4. Повторити дослід не менше трьох разів для різних товщин прошарків розчину (d).
5. За формулою (11.5) розрахувати значення коефіцієнта k_0 для відомої концентрації розчину n_0 та визначити середнє значення $\langle k_0 \rangle$. Зробити перевірку значення k_0 за формулою (11.4).
6. Зробити замір інтенсивності I_x для розчинів невідомої концентрації даної товщини d . За формулою (11.5) розрахувати коефіцієнт поглинання k_x .
7. За формулою (11.7) зробити розрахунок невідомої концентрації n_x розчину. Дослід повторити не менше трьох разів. Дані занести до таблиці 11.1

Таблиця 11.1

I_0 , відн.од.	n_0 , %	d , м	I , відн.од.	k_0 , 1/м	$\langle k_0 \rangle$, 1/м	d_x , м	I_x , відн.од.	k_x , 1/м	n_x , %

Контрольні запитання

1. Що називається явищем поглинання світла?
2. Запишіть, виведіть закон Бугера?
3. Від чого залежить коефіцієнт поглинання світла?
4. Приведіть механізми втрат енергії світлових хвиль під час проходження через середовище?
5. Як визначити концентрацію домішок в розчині за коефіцієнтом поглинання?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12. СЕДИМЕНТАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ

Мета роботи – вивчити розподіл в полі тяжіння Землі нерозчинних у воді частинок; визначити розподіл частинок за розмірами.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання роботи слід вивчити такий теоретичний матеріал: явища переносу, внутрішнє тертя, рух частинок у в'язкому середовищі. [1, т.1, §§ 5.1, 6.4, 6.5, 7.4, 19.2; 2, §§ 33 – 31, 48; 4, т.1, §§ 42, 43, 79, 80]

Технологія виготовлення будівельних матеріалів часто вимагає знання розмірів частинок та їх розподілу за розмірами по окремим фракціями. Дана лабораторна робота присвячена дослідженню розподілу нерозчинних частинок будівельного матеріалу (глини) у воді в полі тяжіння Землі та класифікації частинок за їх розмірами.

При русі частинок у газі або рідині виникають сили тертя між шарами рідини, які «прилипли» до частинки і шарами самої рідини. Цей процес отримав назву внутрішнього тертя у рідинах та газах. Механізм виникнення сили тертя між шарами рідини полягає в тому, що завдяки хаотичному тепловому рухові молекул відбувається обмін молекулами між шарами рідини, в результаті чого імпульс направленого руху шару, який рухається швидше, зменшується, а у того, який рухається повільніше – збільшується, що призводить до гальмування швидкого шару і прискорення повільнішого, тобто, до появи сили внутрішнього тертя. Величина сили внутрішнього тертя визначається за законом Ньютона:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} \Delta S,$$

де η – динамічна в'язкість рідини або газу; $\frac{dv}{dx}$ – градієнт швидкості;

ΔS – площа шару рідини або газу.

Для визначення зернистого складу нерозчинних суспензій використовують ту обставину, що тіло у вигляді кульки падає у в'язкому середовищі під дією трьох сил рівномірно. (Лаб. робота) №1.2 [8]. Це сила в'язкого тертя, яка для сферичної кульки в нескінченній рідині визначається за формулою Стокса:

$$F_C = 6\pi\eta v r,$$

де η – коефіцієнт в'язкості рідини; v – швидкість падіння; R – радіус кульки (частинки). Крім неї, на частинку у воді діє сила тяжіння P та сила Архімеда. Результуюча сила F_C дорівнює:

$$F_C = P - F_A = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_T g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_P g = \frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_T - \rho_P)g,$$

де F_A – сила Архімеда, ρ_T – густина тіла, ρ_P – густина рідини, g – прискорення вільного падіння.

У дослідній практиці седиментаційним аналізом користуються для визначення розмірів частинок (радіусів R), знаходячи значенням їх швидкостей падіння. Під час рівномірного падінні частинки у рідині, відповідно до першого закону Ньютона, маємо:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 (\rho_T - \rho_P)g = 6\pi\eta v r.$$

Звідси:

$$r = \sqrt{\frac{9\eta v}{2g(\rho_T - \rho_P)}} \quad (12.1)$$

Швидкість v можна визначити прямими вимірюваннями. Знаючи висоту падіння h та час падіння t , швидкість v визначають за формулою:

$$v = \frac{h}{t}. \quad (12.2)$$

Підставимо (12.2) в (12.1):

$$r = \sqrt{\frac{9\eta h}{2gt(\rho_T - \rho_P)}}. \quad (12.3)$$

Так як η , ρ_T , ρ_P та g є сталими величинами, то у формулу (12.3) введемо константу k :

$$k = \sqrt{\frac{9\eta}{2g(\rho_T - \rho_P)}}.$$

Тоді:

$$r = k\sqrt{\frac{h}{t}}. \quad (12.4)$$

Таким чином, під час застосування методу седиментаційного аналізу для знаходження розмірів частинки за формулою (12.4) достатньо експериментально визначити час падіння частинки t у рідині при сталій висоті падіння h .

Седиментатор – прилад для визначення зернового складу нерозчинних суспензій (наприклад глини) у воді, складається із скляної трубки (Т) довжиною 1,2 м і діаметром 20 мм, яку заповнюють суспензією. У нижній частині трубка звужена до отвору в 4-6 мм (рис. 12.1).

Залиту в трубку суспензію збовтують. Потім відкривають кран К і включають секундомір. Суспензія витікає з трубки Т в кювету Н через фільтр С (сито). Через певний проміжок часу змінюють кювети та сита певного розміру, відбираючи таким чином певну фракцію глини. Знаючи час відбору і висоту трубки за формулою (12.4) визначають розмір кожної фракції.

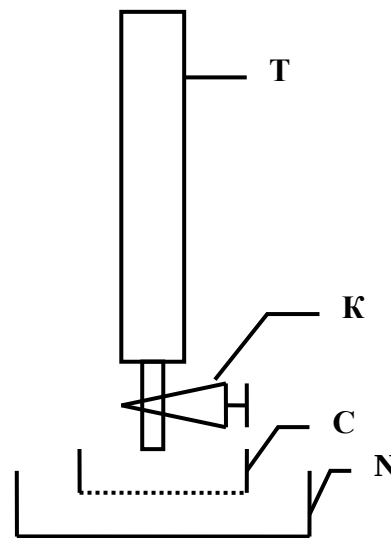


Рис.12.1

У зв'язку з тим, що крупніші частинки осідають швидше, спочатку використовують сита за розміром 80-60 мкм, потім 60 - 40 мкм, потім 40-20 і менше 20 мкм, а час відповідно 3, 5, 15 і більше 15 хв.

Для визначення відсоткового вмісту цих фракцій кювети з частинками глини просушують у сушильній шафі до сталої маси. Потім зважують та порівнюють з початковою навіскою. Відсотковий склад фракцій менше за 20 мкм можна визначити за різницею навісок початкової проби глини і сумарної маси визначених крупніших фракцій.

Хід роботи

1. Просушену глину за температури 120°C не менше 2 год розтерти в чашці і просіяти через сито № 008 (ГОСТ 3584-73).
2. Відібрати проби вагою 10 грамів і висипати в трубку з водою.
3. Приготувати кювети з номерами N_1 , N_2 , і N_3 та відповідно сита C_1 (0063), C_2 (004), та C_3 (002).
4. Поставити кювету N_1 та сито C_1 . Збовтати трубку з суспензією. Одночасно включити секундомір на 3 хв і відкрити кран. Слідкувати, щоб суспензія витікала у вигляді крапель зі швидкістю 10 мл за 5 хв.

5. Через 3 хв замінити кювету N_1 на N_2 та сито C_2 . Час витікання суспензії у цьому випадку становить 5 хв. Час відрахувати від початку зміни кювети.
6. Через 5 хв змінити кювету та сито на N_3 . Час витікання суспензії 15 хв.
7. Визначити за формулою (12.3) розмір кожної відібраної фракції глини.
8. Помістити кювети в сушильну шафу і висушити до сталої ваги.
9. Визначити вагу кювет N_1 , N_2 , і N_3 . Знайти відсотковий вміст фракцій 80-60 мкм, 60-40 мкм, 40-20 мкм і менше 20 мкм.

Контрольні запитання

1. Що таке в'язкість рідини і в чому її фізичний зміст?
2. Що таке суспензія?
3. Для чого використовують седиментаційний аналіз?
4. Чим відрізняється колоїдний розчин від хімічного?
5. Приведіть сили, що діють на рухоме тіло в рідині.
6. Запишіть формулу Стокса.

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ
КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИНИ ВІД
ТЕМПЕРАТУРИ**

Мета роботи – ознайомитись з особливостями поверхневих шарів рідини, визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини і дослідити його зміни зі зміною температури рідини

Вказівки до виконання роботи

Для виконання роботи слід вивчити такий теоретичний матеріал: особливості рідкого стану речовини, поверхневий натяг та поверхневі явища. [1, т.1, §§ 19.1, 19.3; 2, §§ 42, 60 – 62; 4, т.1, §§ 120 – 123, 126]

Сила поверхневого натягу рідини F_H зумовлена існуванням міжмолекулярних сил притягання. У зв'язку з тим, що концентрація молекул рідини в газі (над поверхнею рідини) значно менша, ніж в самій рідині, то сила міжмолекулярної взаємодії напрямлена всередину рідини, що й викликає появу сили поверхневого натягу. Розглянемо межу поділу рідина – газ. У зв'язку з тим, що кількість молекул рідини, які знаходяться в газі над її поверхнею значно менша, ніж в самій рідині, поверхневі молекули мають надлишок енергії. Для того, щоб перевести молекулу із об'єму рідини на поверхню, необхідно виконати роботу, яка чисельно буде дорівнювати приросту поверхневої енергії рідини.

Коефіцієнт поверхневого натягу рідини α визначається через приріст поверхневої енергії рідини ΔW під час збільшення площі поверхні на одиницю:

$$\alpha = \frac{\Delta W}{\Delta S}$$

або через силу поверхневого натягу F_H , яка діє на одиницю довжини контура L , що обмежує поверхню рідини:

$$\alpha = \frac{F_H}{L}.$$

Сила поверхневого натягу напрямлена перпендикулярно до контуру, який обмежує поверхню рідини (або яку-небудь ділянку поверхні), вздовж дотичної до поверхні, в сторону скорочення її поверхні.

Коефіцієнт поверхневого натягу залежить від температури рідини. З підвищенням температури поверхневий натяг зменшується,

що викликано збільшенням середньої відстані між молекулами рідини та зменшенням взаємодії між ними. У критичному стані у всіх рідин коефіцієнт поверхневого натягу $\alpha=0$.

Для визначення коефіцієнта поверхневого натягу α користуються методом відриву кільця від поверхні рідини. Сила відриву кільця від поверхні рідини визначається за допомогою торсійних терезів (рис. 13.1). Основним елементом терезів є плоска спіральна пружина, яка деформується під дією ваги предмета.

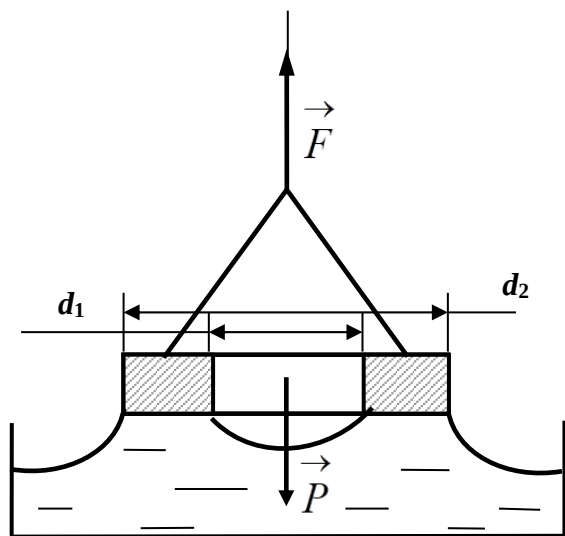


Рис. 13.1

Величина деформації пружини пропорційна навантаженню, а тому шкалу терезів, яка показує кут закручування пружини, градуйовано в одиницях ваги. У момент відриву кільця терези показують силу F_1 , яка дорівнює сумі сил поверхневого натягу F_H та ваги вологого кільця P . З рисунку 13.1 видно, що відрив

кільця від поверхні пов'язаний з розривом поверхневого прошарку рідини з обох боків кільця. На основі цього можна отримати робочу формулу для визначення коефіцієнта поверхневого натягу:

$$\alpha = \frac{F_1}{L} = \frac{F - P}{\pi(d_1 - d_2)}, \quad (13.1)$$

де d_1 та d_2 – відповідно внутрішній та зовнішній діаметри кільця.

Хід роботи

1. За допомогою опорних гвинтів встановити бульбашку, яка контролює горизонтальність терезів, в центральне положення.
2. Користуючись ручкою, розташованою на правому боці терезів, звільнити коромисло з підвішеним на ньому кільцем від затискувача.
3. За допомогою розташованої на лівому боці терезів ручки встановити зусилля відриву порядку 800 мГ.
4. Розташувати під кільцем склянку з водою.

5. За допомогою лівої ручки зменшувати зусилля доти, поки кільце не доторкнеться до поверхні води.
6. Повільно обертаючи ліву ручку, відірвати кільце від поверхні води. Після відриву зафіксувати величину сили відриву F . При цьому слід враховувати, що шкалу терезів градуйовано в міліграмах.
7. Обертаючи ліву ручку в протилежний бік, створити таку ситуацію, коли коромисло терезів займає горизонтальне положення і коливається навколо нього. Відповідне значення ваги вологого кільця занести до таблиці 13.1.
8. Повторити пункти 5–7 разів для значень температури 20–80°C. Дані занести в таблицю.
9. Знайти силу $F_H = F - P$ для кожного виміру, результати занести до таблиці. На основі обчислених даних за формулою (13.1) визначити величину α .
10. Побудувати графік залежності коефіцієнта поверхневого натягу від температури $\alpha=f(t)$.

Таблиця 13.1

№ пор.	Температура води $t, ^\circ\text{C}$	Сила відриву F, H	Вага вологого кільця P, H	F_H, H	$\alpha, \text{H/м}$

Контрольні запитання

1. Який вигляд має графічна залежність потенціальної енергії взаємодії двох молекул від відстані між ними?
2. Які співвідношення між потенціальною енергією взаємодії молекул та їх кінетичною енергією характерні для різних агрегатних станів речовини?
3. Який характер руху молекул в рідині?
4. Що називається далеким та близьким порядком?
5. Який порядок товщини поверхневого шару?
6. Що називається коефіцієнтом поверхневого натягу?
7. Як залежить коефіцієнт поверхневого натягу від температури і як можна пояснити такий характер залежності?
8. Як напрямлена сила поверхневого натягу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 14. ВИЗНАЧЕННЯ АБСОЛЮТНОЇ ТА ВІДНОСНОЇ ВОЛОГОСТІ ПОВІТРЯ

Мета роботи – вивчити особливості газів та парів рідин повітря; визначити абсолютну та відносну вологість повітря.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: реальні гази, насичена та ненасичена пара; особливості розподілу вологи в повітрі; характеристики вологого повітря.

[1, т.1, §§ 21.1 – 21.6; 2, §§ 42, 60 – 62; 4, т.1, §§ 120 – 123, 126]

Відомо, що атмосферне повітря це суміш газів, яка містить 78% азоту, 21% кисню і невелику кількість CO₂, водяної пари та інших газів. Вміст водяної пари в атмосфері характеризують вологістю. На практиці важливо вміти визначати кількість водяної пари в повітрі за певної температури. Вимірювання вологості й підтримання певного її рівня потрібні на багатьох підприємствах (промислових, ткацьких, кондитерських), у різних сховищах (бібліотеки, музеї, архіви), лікарнях та житлових приміщеннях. Метеорологи за зміною вологості визначають зміни погоди. Узагалі, вологість повітря істотно впливає на розвиток флори й фауни на Землі, на життя людини і визначає комфортність приміщень.

Повний атмосферний тиск складається з парціальних тисків окремих компонент. Тиск водяної пари є парціальним, тобто однією зі складових повного атмосферного тиску. Зазвичай парціальний тиск водяної пари в атмосфері коливається в межах $(0,005 \div 0,05) \cdot 10^5$ Па.

Кількісно вологість повітря оцінюється абсолютною та відотною вологістю. *Абсолютна вологість* – фізична величина, яка дорівнює масі водяної пари, що міститься в 1 м³ повітря за даної температури. Інакше кажучи, абсолютна вологість дорівнює густині водяної пари за даної температури. Маса 1 м³ сухого повітря за нормальних умов дорівнює 1293 г. На основі рівняння Клапейрона маса 1 м³ повітря за температури $t^{\circ}\text{C}$ і тиску p , мм рт. ст. буде дорівнювати:

$$m = \frac{1293}{1 + \alpha t^0} \cdot \frac{p}{760} \text{ Г},$$

де $\alpha = \frac{1}{273} \text{град}^{-1}$ – коефіцієнт лінійного розширення повітря.

Густина водяної пари по відношенню до густини повітря за однакового тиску і температури дорівнює 0,622. Рівняння Клапейрона (справедливе лише для парів води, далеких від насичення) дає для маси 1 м³ водяної пари m вираз :

$$b = m = \frac{1293 \cdot 0,622}{760} \cdot \frac{p}{1 + \alpha t^{\circ}} = 1,06 \frac{p}{1 + \alpha t^{\circ}}. \quad (14.1)$$

Цей вираз дозволяє визначити абсолютну вологість, якщо відома пружність p (парціальний тиск) парів води за даної температури.

Із формули (14.1) видно, що за малих значень температури t величина абсолютної вологості повітря b фактично пропорційна тиску водяної пари p . Тому абсолютну вологість можна вимірювати в одиницях тиску – мм рт. ст. Абсолютну вологість повітря, виражену через парціальний тиск, інколи називають пружністю водяних парів.

Однак абсолютна вологість не завжди дає можливість оцінити ступінь насиченості повітря водяною парою. Тому на практиці використовують відносну характеристику – відносну вологість. Відносна вологість визначається як відносна насиченість повітря водяною парою. *Відносна вологість B* , – це відношення парціального тиску водяної пари за даної температури $p(t^{\circ}\text{C})$ до тиску насиченої пари за тієї самої температури $p_i(t^{\circ}\text{C})$:

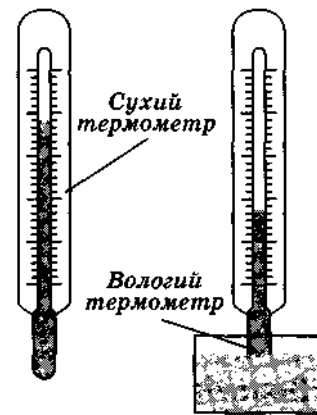
$$B = \frac{p(t^{\circ}\text{C})}{p_i(t^{\circ}\text{C})} \cdot 100\%.$$

Отже, для того щоб знайти відносну вологість повітря, треба знати парціальний тиск пари за даної температури та тиск насиченої пари за цієї ж самої температури. Парціальний тиск водяної пари за даної температури можна знайти, знаючи точку роси. *Точка роси T_{δ}* – це температура, за якої водяна пара у повітрі стає насиченою. Якщо водяну пару охолоджують нижче від точки роси, вона починає конденсуватися на твердих поверхнях (виступає роса) .

Відносна вологість повітря може бути визначена також через густину водяної пари:

$$B = \frac{\rho(t^{\circ}\text{C})}{\rho_1(t^{\circ}\text{C})} \cdot 100\% \quad (14.2)$$

Найпоширенішим приладом для вимірювання вологості є *психрометр* (від грецького psychros – мокрий і metreo – вимірюю) (рис. 1), який складається з двох однакових термометрів, один з яких обмотаний вологою легкою тканиною («вологий» термометр).



Якщо водяна пара в повітрі ненасичена ($B < 100\%$), то вода з тканини буде випаровуватися. При цьому покази «вологого» термометра нижчі, аніж сухого, за рахунок випаровування (яке потребує кількості теплоти). Що менше пари у повітрі, то інтенсивніше відбувається випаровування і нижчі показання «вологого» термометра. За різницею показань цих термометрів та за психрометричною таблицею (додаток, таблиця 14.3) знаходять значення вологості.

Крім психрометра для вимірювання вологості використовують ще *гігрометри*. Наприклад, принцип дії волосяного гігрометра (від грецького hygros — вологий) ґрунтується на тому, що у вологому повітрі довжина натягненого людського волосся зростає, а в сухому — скорочується. Вимірюючи видовження волосини, роблять висновки про значення вологості повітря.

У даній лабораторній роботі використовується аспіраційний психрометр (рис.14.1), принцип дії якого полягає у тому, що два однакових термометри обдуваються однаковими потоками повітря. Один з термометрів обгорнуто змоченим водою батистом. Завдяки випаровуванню води показники термометрів різні. Зволожений термометр має більш низьку температуру порівняно із «сухим» термометром. Це відбувається внаслідок випаровування води з батисту у повітря, і чим нижче вологість навколишнього повітря, тим інтенсивніше буде випаровування та більш низькими показники «вологого» термометра. Через деякий час процес випаровування стабілізується.

Випаровування води вільною поверхнею в одиницю часу пропорційне різниці температур води та повітря (закономірність, встановлена Ньютоном):

$$Q_1 = a \cdot \Delta t \cdot S_1, \quad (14.3)$$

де Q_1 – теплота випаровування; a – коефіцієнт пропорційності;

Δt – різниця показів «сухого» та «вологого» термометрів; S_1 – величина поверхні випаровування.

За законом Дальтона, випаровування рідини в одиницю часу визначається за формулою:

$$m = \frac{c \cdot S_2 (p_i - p)}{P}, \quad (14.4)$$

де m – маса води, що випаровується; c – коефіцієнт пропорційності; S_2 – площа поверхні, що випаровує; p_i – пружність насиченої водяної пари за даної температури; p – пружність водяної пари в повітрі; P – атмосферний тиск повітря за даних умов.

Кількість тепла Q_2 , необхідного для випаровування води масою m , дорівнює:

$$Q_2 = m \cdot r = \frac{c \cdot S_2 (p_i - p)}{P} r, \quad (14.5)$$

де r – питома теплота випаровування.

При $Q_1 = Q_2$ з (14.3) та (14.5) маємо:

$$\frac{c \cdot S_2 (p_i - p)}{P} r = a \cdot \Delta t \cdot S_1, \quad (14.6)$$

але, за умови $S_1 = S_2$, маємо:

$$p = p_i - A \cdot \Delta t \cdot P, \quad (14.7)$$

де A – стала величина для даного приладу, яка визначається швидкістю потоку повітря і знаходиться дослідним шляхом:

$$A = \frac{a}{c \cdot r} = \text{const}$$

Остаточно формула для розрахунку абсолютної вологості повітря має вигляд:

$$b = p = p_n - 0,002(t_c - t_b) \cdot P, \quad (14.8)$$

де p_i – тиск насиченої пари за температури сухого термометра t_n ;

t_a – температура вологого термометра; H – атмосферний тиск в мм рт.ст.

Величину p_i беруть з таблиці «Залежність тиску насичених парів води від температури» (Додатки. Табл. 14.2). Атмосферний тиск визначають за допомогою барометра.

Будова приладу

Будову стандартного аспіраційного термометра показано на рис. 14.1. Він складається з двох однакових термометрів **Т**, балончик одного з термометрів покрито батистом **Б**. Аспіратор має пружинний вентилятор, який заводиться ключем **К**.

Швидкість повітряного потоку близька до 2,5 м/с. Для запобігання нагріву приладу ззовні його металеві частини мають дзеркальне покриття. Батист змочують водою за допомогою гумової груші з піпеткою. Грушу заповнюють дистильованою водою. Невеликим стисканням груші через піпетку змочують батист. Необхідно уникати попадання води на другий термометр. Ключем **К** заводять вентилятор на 5-6 обертів і спостерігають за показниками термометрів.

На практиці для визначення відносної вологості повітря використовують спеціальні номограми або психометричні таблиці, які знаходяться в лабораторній кімнаті (Додаток. Табл. 14.3)

Хід роботи

Спосіб I.

1. За допомогою груші змочити батист, який намотаний на один з термометрів (**Б**) психрометра.
2. Завести механічний пристрій вентилятора (**К**) на 5-6 повних обертів.
3. Через 4-5 хв зняти покази «сухого» t_c та «вологого» t_b термометрів.
4. Знайти різницю температур $\Delta t = t_c - t_b$ та визначити значення відносної вологості повітря **В** за допомогою психометричних таблиць.(додаток, таблиця 14.3)

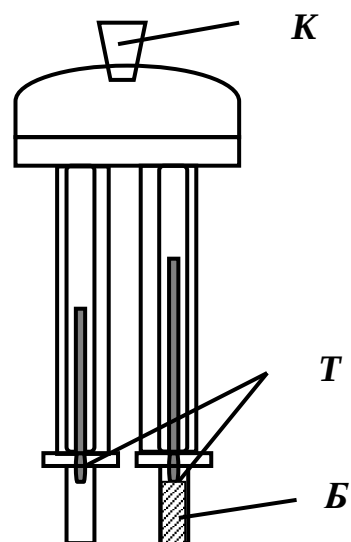


Рис.14.1

Спосіб II.

1. За допомогою барометра визначити атмосферний тиск P .
2. За таблицею «Залежність насичених парів води від температури» (дивись додаток) знайти значення тиску насичених парів P_H за температури, яка відповідає показам t_c «сухого» термометра.
3. За формулою (14.8) розрахувати абсолютну вологість повітря ($b=P$).
4. За формулою (14.2) розрахувати відносну вологість повітря B .
5. Всі дані вимірювання та розрахунків занести до табл 14.1.

Таблиця 14.1

Спосіб I				Спосіб II			
$t_c, ^\circ\text{C}$	$t_b, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$B, \%$	$H, \text{Па}$	$P_H, \text{Па}$	$P(b), \text{Па}$	$B, \%$
			За психрометричною табл.				
			,				

Контрольні запитання

1. Що називається абсолютною вологістю повітря?
2. Що називається відотною вологістю повітря?
3. Які ви знаєте методи вимірювання вологості повітря?
4. За рахунок якої енергії відбувається випаровування рідини?
5. Що називають точкою роси?
6. Як побудований психрометр?
7. На якому явищі ґрунтується психрометричний спосіб вимірювання вологості повітря?
8. Приведіть орієнтовний склад атмосфери.

Залежність тиску насиченої водяної пари від температури

$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}},$ мм рт. ст.	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}},$ мм рт. ст.	$t, ^\circ\text{C}$	$p_{\text{н}},$ мм рт. ст.
-30	0,28	-3	3,57	24	22,38
-29	0,31	-2	3,88	25	23,76
-28	0,35	-1	4,22	26	25,21
-27	0,38	0	4,58	27	26,74
-26	0,43	1	4,93	28	28,35
-25	0,47	2	5,29	29	30,04
-24	0,52	3	5,69	30	31,82
-23	0,58	4	6,10	31	33,70
-22	0,64	5	6,54	32	35,66
-21	0,70	6	7,01	33	37,73
-20	0,77	7	7,51	34	39,90
-19	0,85	8	8,05	35	42,18
-18	0,94	9	8,61	36	44,56
-17	1,03	10	9,21	37	47,07
-16	1,13	11	9,84	38	49,69
-15	1,24	12	10,52	39	52,44
-14	1,36	13	11,23	40	55,32
-13	1,49	14	11,99	45	71,88
-12	1,63	15	12,79	50	92,50
-11	1,78	16	13,63	55	118,00
-10	1,95	17	14,53	60	149,40
-9	2,13	18	15,48	65	187,50
-8	2,32	19	16,48	70	233,70
-7	2,53	20	17,54	75	289,10
-6	2,76	21	18,65	80	355,10
-5	3,01	22	19,83	90	525,80
-4	3,28	23	21,07	100	760,00

Таблиця 14.3

Психрометрична таблиця

Покази сухого термометра, °C	Різниця сухого і вологого термометрів, °C											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Відносна вологість, %											
0	100	81	63	45	28	11						
1	100	83	65	48	32	16						
2	100	84	68	51	35	20						
3	100	84	69	54	39	24	10					
4	100	85	70	56	42	28	14					
5	100	86	72	58	45	32	19	6				
6	100	86	73	60	47	35	23	10				
7	100	87	74	61	49	37	26	14				
8	100	87	75	63	51	40	29	18	7			
9	100	88	76	64	53	42	31	21	11			
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5		
11	100	88	77	66	56	46	36	26	17	8		
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11		
13	100	89	79	69	59	49	40	31	23	14	6	
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9	
15	100	90	80	71	61	52	44	36	27	20	12	5
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15	8
17	100	90	81	72	64	55	47	39	32	24	17	10
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20	13
19	100	91	82	74	65	58	50	43	35	29	22	15
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24	18
21	100	91	83	75	67	60	52	46	39	32	26	20
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28	22
23	100	92	84	76	69	61	55	48	42	36	30	24
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31	26
25	100	92	84	77	70	63	57	50	44	38	33	27
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34	29
27	100	92	85	78	71	65	59	52	47	41	36	30
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37	32
29	100	93	86	79	72	66	60	54	49	43	38	33
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39	34

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 15. **ВИЗНАЧЕННЯ НЕВІДОМОГО ГАЗУ ЗА ЙОГО СПЕКТРОМ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Мета роботи – вивчити спектральні закономірності атомів, проградувати монохроматор УМ-2, визначити невідомий газ за спектром його випромінювання.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: закономірності спектрів атомів; спектри випромінювання атома водню; формулу Бальмера; енергетичні рівні атома водню; квантові числа, їх фізичний зміст; принцип Паулі; електронні оболонки складних атомів; поняття про енергетичні рівні молекул; спектри молекул.

[1, т.3, §§ 13.1 – 13.9; 2, §§ 209, 212, 227, 230, 231; 3, розд. 12, §§ 3 – 9; 4, т.3, §§ 12, 17, 28 – 30, 36, 39, 40]

Спектри випромінювання – це розподіл за частотами (довжинами хвиль) інтенсивності світла, яке випромінюється атомами, молекулами або розжареними твердими тілами. Спектри поглинання – це розподіл за довжинами хвиль інтенсивності світла під час проходження його через різні речовини. Спектри поглинання і випромінювання бувають трьох типів: суцільні, смугасті та лінійчаті.

Механізм утворення спектрів поглинання і випромінювання пояснюється атомною теорією будови речовини. Випромінювання світла відбувається під час переходу електрона з енергетичного рівня з більшою енергією на рівень з меншою енергією (рис. 15.1.).

Енергія випроміненого кванта (перехід $1 \rightarrow 2$) відповідно до теорії Бора:

$$h\nu_{1,2} = W_2 - W_1.$$

Поглинання світла відбувається у процесі переходу електрона з меншою W_1 на більший рівень енергії W_2 .

Якщо енергетична схема рівнів системи складається з поодиноких, відносно далеко розміщених один від одного рівнів, то під час переходу електронів між цими рівнями формуються лінійчаті спектри. Таку схему рівнів мають окремі атоми речовини (рис. 15.1, а).

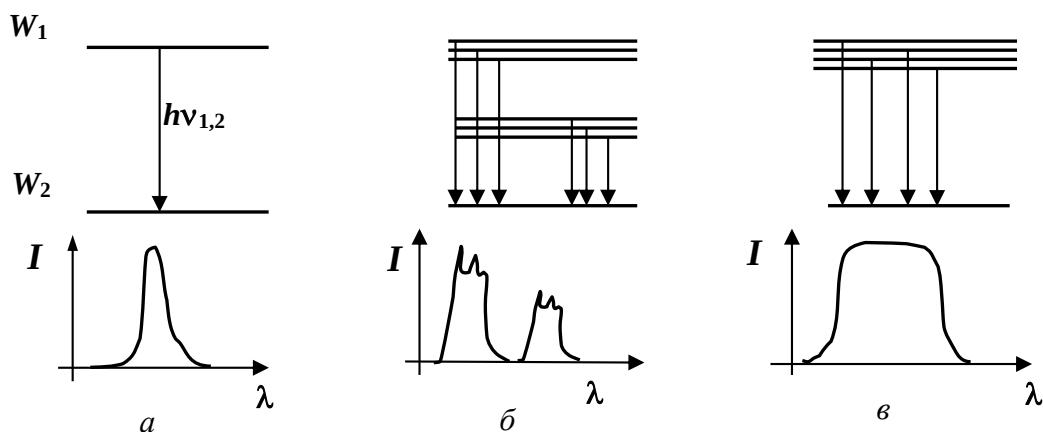


Рис.15.1.

Якщо енергетична схема рівнів системи складається з групи близько розташованих рівнів, а групи розділені значними проміжками, то переходи між цими рівнями утворюють спектри, які складаються з групи ліній, що зливаються у смуги (смугості спектри). Таку схему рівнів мають молекули. На приведеному рисунку показано виникнення коливально-обертального спектру молекул (рис. 15.1, в).

Якщо енергетична схема рівнів системи складається з множини дуже близько розташованих один від одного рівнів, то під час переходу між ними утворюється суцільний спектр. Суцільний спектр випромінюють нагріті тверді тіла (рис. 15.1, б).

У даній лабораторній роботі вивчаються лінійчаті спектри випромінювання. Для атома водню довжини хвиль λ лінійчатого спектру випромінювання можна розрахувати за допомогою формули Бальмера:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

де R – стала Рідберга, $n = 3, 4, 5, \dots$. Для визначення довжин хвиль ліній випромінювання використовують спектрометри. У даній лабораторній роботі використовується універсальний монохроматор УМ-2. Він складається з таких блоків (рис. 15.2): 1 – коліматор (труба К, щілина S та об'єктив O_1); 2 – призма П; 3 – зорова труба О та окуляр O_2 ; 4 – відліковий пристрій М. LL' та NN' – оптичні вісі коліматора та зорової труби відповідно.

Призначення коліматора **К** – дати паралельний пучок світла, який падає на призму **П** монохроматора, для чого щілина S розташована у фокальній площині об'єктива паралельно ребру призми. Призма у монохроматорі має складну будову.

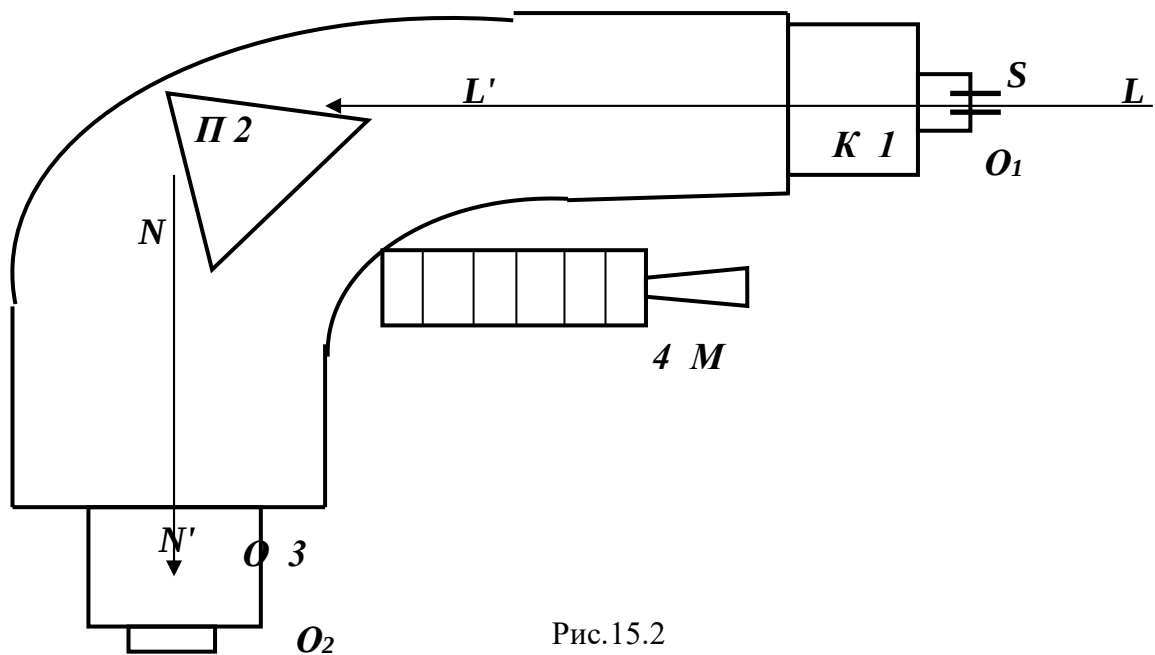


Рис.15.2

У зв'язку з тим, що паралельні пучки променів, які вийшли з призми, за рахунок дисперсії світла мають різний колір (різну довжину хвиль), то вони мають і різний напрям. Ці промені у фокальній площині об'єктива F зорової труби утворюють ряд паралельних кольорових зображень щілини, які розглядають через окуляр O_2 зорової труби O .

Для визначення відносного положення смуг або ліній у спектрі слугує показчик у вигляді темної нерухомої лінії, паралельній зображенням ліній. Положення лінії і показчика фіксується за допомогою мікрометричного гвинта M . На циліндрі цього гвинта M розташовані цифри, за якими і визначається положення ліній спектрів.

Для отримання лінійчатих спектрів використовують заповнені газом спектральні трубки, які світяться під дією високої напруги. Під час проходження струму атоми газу збуджуються, тобто електрони переходять на більш високі енергетичні рівні. Перехід електронів із збудженого стану у не збуджений призводить до появи спектра випромінювання. Так як атоми кожного елемента мають характерну тільки для них схему рівнів, спектри випромінювання різних атомів відрізняються один від одного. Інтенсивність ліній випромінювання залежить від кількості речовини і його стану. Це явище і використовують для розпізнавання виду атомів та їх кількості за спектрами випромінювання (спектральний аналіз).

Для визначення довжин хвиль невідомого газу спочатку за відомими довжинами хвиль (наприклад, атома водню або ртуті) треба проградувати шкалу монохроматора. Проградувати монохроматор – це означає показати,

яким довжинам хвиль (λ) відповідають покази барабана приладу (N) (Додаток Рис.15.2). Для градуювання використовують джерела, в спектрі випромінювання яких довжини хвиль добре відомі. У нашій роботі градуювання проводять по спектру ртуті. Спектр випромінювання ртуті приведений на рис. 15.3.

Хід роботи

Перед початком роботи слід ознайомитись з правилами техніки безпеки.

1. Проградувати монохроматор УМ-2. Для цього перед щілиною коліматора розмістити ртутну лампу, спектр якої відомий і приведений на рис.15.3. та в таблиці 15.1. Показчик монохроматора навести послідовно на лінії спектра, визначити при цьому показники мікрометричного гвинта і дані занести в таблицю 15.1.
2. Побудувати на міліметровому папері графік $\lambda = f(N)$. Спектр розглядати від крайньої червоної лінії.
3. Визначити довжини хвиль невідомого газу, який видає викладач. Для цього перед щілиною коліматора вставити трубку з невідомим газом, в якій горить самостійний розряд. Показчик монохроматора послідовно наводити на невідомі лінії, відраховуючи при цьому показники мікрометричного гвинта. Дані занести в табл 15.1.
4. За графіком $\lambda = f(N)$ визначити довжини хвиль невідомого газу і дані занести в табл 15.1. Порівняти отриманий спектр із зразками спектрів приведених в додатку. За характером спектра та отриманим довжинам хвиль за табличними даними визначити газ, якому належить такий спектр.

Таблиця 15.1

Назва елемента	Колір лінії	Довжина хвилі, нм	Відлік по шкалі мікрометричного гвинта, (N)	
Ртуть	1.Червоний	690,7		
	2.Жовтий дуплет	579,0		
		577,0		
	3.Зелений	546,0		
	4.Блакитний	491,6		
	5.Синій	435,8		
	6.Фіолетовий	404,7		
Назва елемента	Колір лінії	Довжина хвилі, Нм (визначена по графіку)	Відлік по шкалі мікрометричного гвинта, (N)	Довжина хвилі, Нм (по додатку)
Невідомий газ	1. 2. 3.			

Контрольні запитання

1. Які види спектрів та яка їх природа?
2. Який механізм виникнення спектрів випромінювання та поглинання?
3. Поясніть механізм виникнення лінійчатих спектрів.
4. Приведіть та дайте пояснення формулі Бальмера.
5. Поясніть виникнення молекулярних спектрів.
6. У чому полягає явище дисперсії? Які є види дисперсії?
7. Яка будова та принцип дії монохроматора УМ-2?
8. Як проградувати монохроматор? Як визначити довжину невідомої лінії спектра?
9. Що таке спектральний аналіз?

Додаток

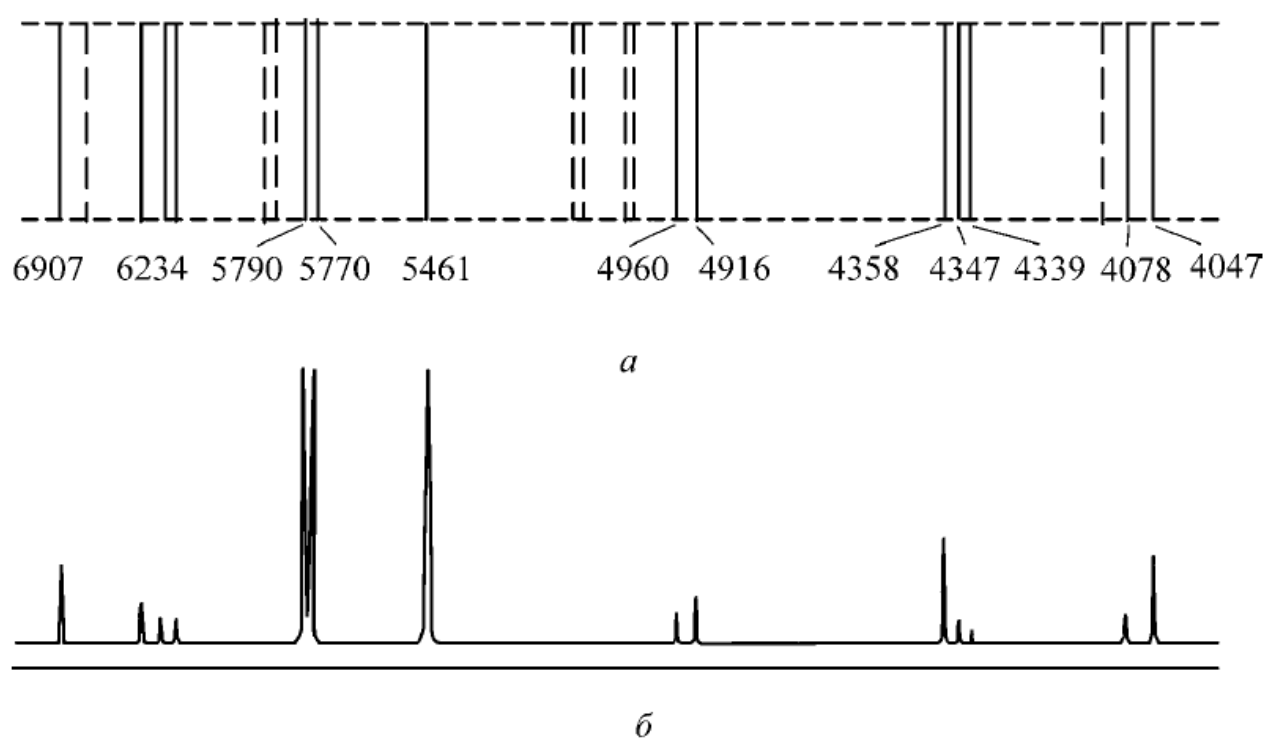


Рис.15.2. а – спектр випромінювання ртуті,
б – розподіл інтенсивності ліній в спектрі ртуті

Таблиця 15.2

Довжини хвиль яскравих ліній деяких елементів

Ртуть		Гелій		Неон		Водень	
Колір	нм	колір	нм	колір	нм	колір	нм
черво на	612,4	темно- червона	706,5	червона	640,2	червона	656,3
жовта	579,1	червона	657,8	червона	614,3	зелено- голуба	486,1
жовта	577,0	помаранч ева	587,6	помаранче ва	594,5	блакитна	434,1
зелена	546,1	зелена	501,6	жовта	585,2	фіолетова	410,2
блакит- на	491,6	блакитна	492,2	зелена	540,0		
синя	435,8	блакитна	471,3	зелена	533,0		
синя	434,7	синя	447,1	зелена	503,1		
синя	433,9	фіолетова	402,6	блакитна	484,9		
фіоле това	410,8	фіолетова	388,9				
фіоле това	407,7						
фіоле това	404,7						

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 16. ДОСЛІДНЕ ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ВІД ВИСОТИ НАД ЗЕМЛЕЮ

Мета роботи – ознайомитись з особливостями атмосфери Землі та атмосферним тиском; дослідити залежність атмосферного тиску від висоти над Землею; отримати дослідне підтвердження барометричної формули.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: атмосфера, атмосферний тиск, барометрична формула.

[1, т.1, §§ 14.3, 14.11; 2, §§ 41 – 43, 45; 4, т.1, §§ 62, 75]

Атмосфера – це газоподібна оболонка, яка обертається із Землею як одне ціле. Атмосфера до висоти 20 км – це тропосфера, до 40 км – стратосфера, до 80 км – мезосфера, а вище – іоносфера. Газ атмосфери знаходиться у потенціальному полі тяжіння Землі і своєю вагою тисне на її поверхню. Тиск, який створює газ атмосфери своєю вагою на поверхню Землі, називається атмосферним тиском. Якщо вирізати стовпчик повітря у вигляді паралелепіпеда висотою 20 км (більш немає сенсу) та поперечним перерізом в 1 см^2 , то маса такого стовпчика сягає 1,013 кг (за умови $t = 0^\circ \text{C}$ та нормальній

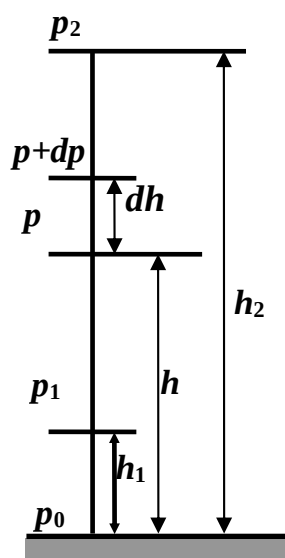


Рис. 16.1

величині прискорення Земного тяжіння на широті 45° на рівні моря). Атмосферний тиск вимірюється в Па (Н/м^2), мм рт.ст. або атмосферах. Співвідношення між цими одиницями таке:

$$1 \text{ атм.} = 1,014 \cdot 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ мм рт.ст.}$$

Сили тяжіння та перепад тисків формують стаціонарний стан атмосфери, за якого атмосферний тиск зменшується з висотою. У даному випадку ми маємо справу з розподілом молекул газу в силовому полі, який в свій час отримав Больцман.

Розглянемо залежність атмосферного тиску від висоти. Якщо атмосферний тиск на висоті h дорівнює p (рис. 2.6.1), то на висоті $h+dh$ він буде $p+dp$. Різниця тиску p та $p+dp$ дорівнює вазі P газу, який знаходиться в об'ємі циліндра висотою dh з основою, площа якої дорівнює одиниці.

Тоді:

$$p - (p + dp) = \rho g dh,$$

де ρ – густина повітря, або:

$$dp = -\rho g dh, \quad (16.1)$$

знак «мінус» показує, що із збільшенням висоти тиск падає.

З висотою dh густина ρ майже не змінюється. Використавши рівняння стану ідеального газу, маємо:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{або} \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{p\mu}{RT}. \quad (16.2)$$

Підставивши вираз (16.2) в (16.1), отримаємо:

$$dp = -\frac{p \cdot \mu \cdot g \cdot dh}{RT} \quad \text{або} \quad \frac{dp}{p} = -\frac{\mu \cdot g \cdot dh}{RT}.$$

За відсутності вітру та повітряних течій, температура атмосфери залишається незмінною. Таку атмосферу називають ізотермічною. Ізотермічна атмосфера – це ідеалізоване уявлення про атмосферу, але в деяких межах висот воно виправдане. Тоді:

$$\int_{p_0}^p \frac{dp}{p} = -\int_0^h \frac{\mu g}{RT} dh,$$

Звідки:

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}, \quad (16.3)$$

де p_0 – тиск на висоті $h=0$.

Вираз (16.3) має назву барометричної формули. За допомогою цієї формули можна визначити висоту, на якій ми знаходимося, за значенням тиску. Прилади для визначення висоти над Земною поверхнею називаються висотомірами або альтиметрами.

Для дослідної перевірки барометричної формули достатньо заміряти тиск p_1 на висоті h_1 , а потім тиск p_2 на висоті h_2 (рис. 16.1):

$$p_1 = p_0 e^{-\frac{\mu g h_1}{RT}} \quad \text{та} \quad p_2 = p_0 e^{-\frac{\mu g h_2}{RT}}.$$

Тоді отримаємо:

$$\ln \frac{p_1}{p_2} = \frac{\mu g}{RT} (h_2 - h_1). \quad (16.4)$$

Отже, дослідна перевірка барометричної формули (16.3) зводиться до перевірки співвідношення (16.4).

Атмосферний тиск вимірюють за допомогою приладів – барометрів. Найбільш поширеними раніше були ртутні барометри, а в даний час – барометри-анероїди (рис. 16.2, а), барографи (рис. 16.2, б), і навіть, цифрові барометри (рис. 16.2, в).



Рис. 16.2

Барометр (з давньогрецького βάρος – «тяжкість» і μέτρον – «вимірюю») – прилад для вимірювання атмосферного тиску. Ртутний барометр був винайдений італійським вченим Еванджеліста Торрічеллі, про який він вперше доповів у своєму творі «Opera Geometrica» в 1644 році у Флоренції серед інших своїх відкриттів та винаходів.

Ртутний барометр – рідинний барометр, в якому атмосферний тиск вимірюється за висотою стовпчика ртуті ($p = \rho gh$), який залишиться після того, як заповнену доверху ртуттю трубку перевернути та відкритим кінцем опустити в посудину зі ртуттю (дослід Торрічеллі). Найпростіший ртутний барометр (рис. 16.3, а) і є такою скляною трубкою, наповненою ртуттю та опущеною відкритим кінцем у чашку зі ртуттю. Ртуть у трубці піднімається і опускається відповідно до змін погодних умов. У сифонному барометрі (рис. 16.2, б) зміни рівня ртуті у відкритому кінці трубки за допомогою вантажу m з противагою M передаються стрілці, що вказує на написи кругової шкали, що пророкують погоду. Барометр Фортина (рис. 16.3, в) – це чашковий барометр, в якому нуль шкали встановлюється шляхом обертання гвинта A до зіткнення кістяного вістря T з поверхнею ртуті; для більш точного відліку за шкалою передбачений верньєр (ноніус) V . Ртутні барометри – найбільш точні прилади, ними обладнані метеорологічні станції, за ними перевіряється робота інших видів барометрів.

Подальше вдосконалення барометра йшло шляхом відмови від ртуті та використання герметичних вакуумованих ємностей, і в 1847 році перший

барометр-анероїд був сконструйований іншим італійцем Люсьєном Віді. Анероїд (грец. *a* + *nērys* – негативна частинка + «вода», в буквальному перекладі «безводний») – прилад для вимірювання атмосферного тиску, тип барометра, діючий без допомоги рідини.

«Серцем» барометра-анероїда (рис. 2.6.4) є герметичний гофрований металевий циліндр (сильфон), з якого частково відкачано повітря (1). Коли зовнішній тиск повітря змінюється, цей циліндр розширюється або стискається, і цей рух передається через систему важелів (2) і нитку (3) на вісь обертання стрілки (4), яка і показує нам тиск на шкалі значень (5). Прилад поміщений в корпус (6) зі склом над шкалою (7). Нині у конструкціях барометрів-анероїдів замість пружини застосовують більш пружні коробки.

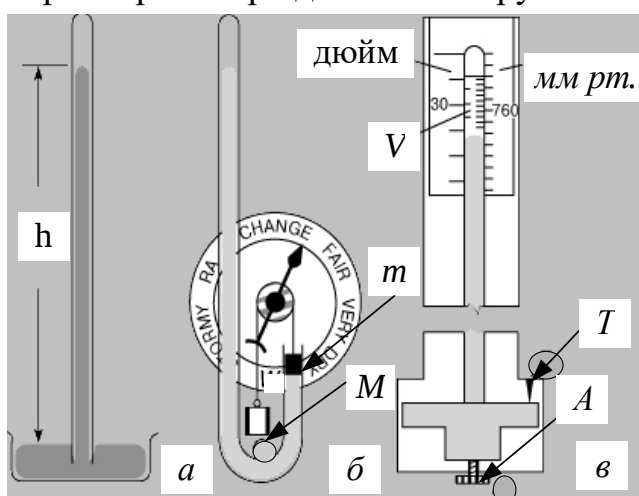


Рис. 16.3

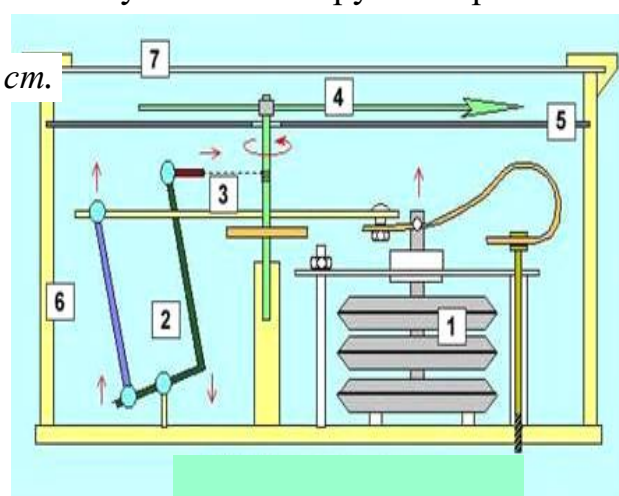


Рис. 16.4

До шкали анероїда може бути прикріплений дугоподібний термометр-компенсатор, який служить для внесення поправки в покази анероїда на температуру. Для отримання істинного значення тиску покази анероїда потребують поправок, які визначаються порівнянням його показів з ртутним барометром. До показів анероїда можливі три поправки:

- на шкалу – залежить від того, що анероїд неоднаково реагує на зміну тиску в різних ділянках шкали;
- на температуру – обумовлена залежністю пружних властивостей анероїдної коробки і пружини від температури;
- додаткова, обумовлена зміною пружних властивостей коробки і пружини з часом.

Похибка вимірювань анероїда становить 1-2 мбар (1 бар=1 атм). Внаслідок своєї портативності анероїди широко застосовуються в експедиціях

і побуті. Крім того, анероїди використовуються також як висотоміри. У цьому випадку шкалу анероїда градуюють в метрах.

Інший, корисний в метеорології, прилад називається барографом. Це той же барометр = анероїд, який може записувати чорнильною лінією значення тиску за певний період (звичайно тиждень) на паперову стрічку, обгорнуту навколо барабана з годинниковим механізмом. Перевагою цього приладу є те, що по цій лінії ми можемо прямо спостерігати так звану барограму - зміну тиску з плином часу, що насправді цікавить нас найбільше. Продовжуючи розмову про барометри як прилади, необхідно відзначити, що в останнє десятиліття на ринку з'явилися електронні барометри різних розмірів і точності. Є навіть барометри і барографи, вмонтовані в ручний годинник. Одні з них працюють за принципом звичайного анероїда, але без механічної системи важелів, вимірюючи зміну ємності електричного конденсатора. Другі використовують інший принцип, вимірюючи тиск повітря по дії на чутливий кристал.

Хід роботи

1. Ознайомитись з будовою та принципом дії приладу – барометром-анероїдом (рис. 16.4).
2. Заміряти тиск p_1 на висоті h_1 . Прийняти висоту $h_1=0$ на рівні першого поверху.
3. Заміряти тиск p_2 на висоті 9-го поверху лабораторного корпусу (висота $h_2=24$ м).
4. Визначити температуру навколишнього повітря на даний момент часу.
5. Користуючись формулою (16.4) зробити дослідну перевірку барометричної формули, тобто порівняти значення лівої та правої частини формули.

Контрольні запитання

1. Що таке атмосфера Землі та який її умовний поділ з висотою?
2. Чим зумовлений атмосферний тиск?
3. Як залежить атмосферний тиск від висоти?
4. Виведіть барометричну формулу.
5. Що таке розподіл Больцмана? Наведіть приклади такого розподілу.
6. Як виміряти атмосферний тиск?
7. Принцип роботи барометра-анероїда.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 17. ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОСТІ ДЕРЕВИНИ РІЗНИХ ПОРІД

Мета роботи – вивчити основні властивості деревини та визначити вологість різних порід деревини.

Вказівки до виконання роботи

Для виконання роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: будова деревини, фізичні та механічні властивості та їх зв'язок з вологістю деревини. [6, Гл.10, п.п. 10.1, 10.2, 10.5, 10.6; 7, § 4.5]

Деревина – це найбільш розповсюджений будівельний матеріал, який широко використовується у промисловості та сільському господарстві; це достатньо міцний та в той же час легкий матеріал, який легко оброблюється на верстатах, добре склеюється, утримує металеві кріплення, що дає можливість створювати збірні-розбірні конструкції, зручні для транспортування та монтажу. Деревину як матеріал використовують у натуральному вигляді (лісоматеріали, пиломатеріали), а також після спеціальної фізико-хімічної обробки.

Як конструкційний матеріал деревину використовують у будівництві (дерев'яні конструкції, столярні деталі), на залізничному транспорті та лініях зв'язку (шпали, опори ліній електропередач), у гірничодобувній промисловості (кріплення), в машино- та суднобудівній, у виробництві меблів, музичних інструментів, спортивного інвентарю. Деревину як сировину використовують у целюлозно-паперовій промисловості та для інших видів хімічної переробки (наприклад, гідроліз, суха перегонка), а також як паливо.

Деревина – це складна тканина деревинних та трав'яних рослин, яка проводить воду та розчинені у ній мінеральні солі. Вона складає основну масу стовбура, коріння та гілок деревинних рослин. Форма та величина клітин, які утворюють деревину, дуже різноманітна та залежить від їх функціональної спрямованості. Деревина має провідні, механічні та запасні елементи.

Абсолютно суха деревина всіх порід у середньому містить: 49,5% вуглецю; 6,3% гідрогену; 44,1% кисню; 0,1% азоту. У деревині на долю оболонок клітин припадає близько 95% маси. Головні складові частини оболонок – целюлоза (43 – 56%) та лігнін (19 – 30%), інші: геміцелюлози, пектинові та мінеральні речовини (головним чином, солі кальцію), невелика кількість жирів, ефірних масел, алкалоїдів, глюкозидів тощо. Для всіх клітин

деревини характерним є одеревіння – просочування оболонок лігніном. Деревина деяких дерев містить дубильні речовини (квебрахо), барвники (кампешеве дерево, сандал), бальзами, смоли, камфору тощо.

Під час вивчення деревини та її властивостей користуються трьома головними її розрізами, а для мікроскопічного дослідження – зрізами: поперечним, тангенціальним та радіальним. Фізичні властивості деревини характеризуються її зовнішнім виглядом (колір, блиск, текстура), густиною, вологістю, гігроскопічністю, теплоємністю, теплопровідністю, електропровідністю, акустичними властивостями тощо.

Деревина має високі теплоізоляційні властивості, мало розширюється під час нагрівання (особливо вздовж волокон), що дозволяє у протяжних спорудах не вживати температурних швів, також вона відрізняється високими декоративними властивостями, добре протидіє проникненню газів та слабких розчинів деяких кислот. Одним із основних недоліків деревини є залежність її властивостей від зовнішніх умов та анізотропія матеріалу, що пов'язане з її рослинним походженням. Так, розмір та форма деталей із деревини змінюються під час зміни вологості. Отже, важливим фактором впливу на використання деревини у будівництві є її вологість.

Деревина містить *вільну вологу* (в порожнинах клітин) та *зв'язану вологу* (в оболонках клітин). Вологість деревини W знаходиться за формулою:

$$W = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$

де m – початкова маса зразка деревини; m_0 – маса зразка в абсолютно сухому стані.

Межею гігроскопічності (точкою насичення волокна) називається стан, при якому в деревині міститься максимальна кількість зв'язаної (гігроскопічної) води, а вільна вода відсутня. Вологість, яка відповідає межі гігроскопічності $W_{i\bar{a}}$ за температури $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, дорівнює в середньому 30%.

На основні властивості деревини впливає зміна вмісту саме зв'язаної води. При достатньо довгій витримці деревина набуває рівноважну вологість W_{δ} , яка залежить від відносної вологості B та температури навколишнього середовища. Зменшення вмісту зв'язаної води викликає скорочення лінійних розмірів та об'єму деревини – *усушку*. Усушка знаходиться за формулою:

$$Y_W = \frac{a_{i\bar{a}} - a_W}{a_{i\bar{a}}} \cdot 100\%,$$

де Y_W – усихання в %; $a_{i\bar{a}}$ – розмір (об'єм) зразка при межі гігроскопічності; a_W – розмір (об'єм) зразка при даній вологості в діапазоні $0 \dots W_{i\bar{a}}$.

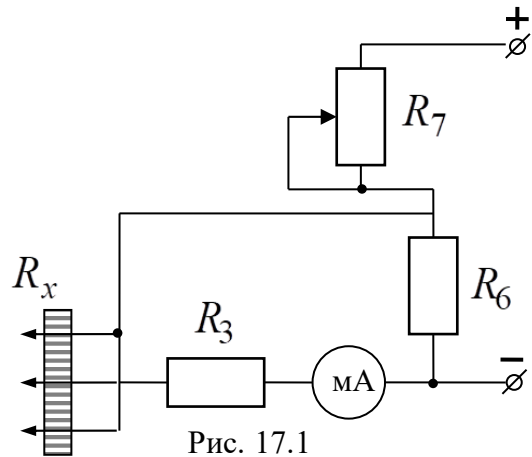
Повна (при видаленні всієї зв'язаної води) усушка в тангенціальному напрямку для всіх порід складає 6 – 10%, в радіальному напрямку становить 3 – 5%, вздовж волокон 0,1 – 0,3%, а повна об'ємна усушка становить 12 – 15%. Під час збільшення кількості зв'язаної води, а також у процесі поглинання деревиною інших рідин, відбувається *набухання* – явище, зворотне до усушки. Внаслідок різниці значень радіальної та тангенціальної усушки під час висихання (або зволоження) спостерігається поперечне короблення пиломатеріалів та заготовок. У процесі сушіння деревини, внаслідок нерівномірного видалення води та анізотропії усушки, виникають внутрішні напруги, які призводять до розтріскування матеріалу. Температурні деформації деревини значно менші за усушку та набухання і під час розрахунків звичайно не враховуються.

Питома теплоємність деревини практично не залежить від породи, а визначається її температурою та вологістю. Наприклад, за $t=20^\circ\text{C}$ та $W=65\%$ питома теплоємність дорівнює $C=2,8$ кДж/(кг·К), а при $W=85\%$ $C=3,0$ кДж/(кг·К). Для всіх будівельних матеріалів одним із визначальних параметрів є густина. *Густина* деревної речовини у всіх порід однакова (так як однаковий їх хімічний склад) та приблизно у 1,5 рази більша за густину води. Однак, *густина деревини* внаслідок наявності порожнин дещо менша та коливається в значних межах залежно від породи, умов росту, положення зразка у стовбурі.

Густина деревини за даної вологості знаходиться за формулою:

$$\rho_W = \frac{m_w}{V_w}, \quad (17.1)$$

де m_w та V_w – маса та об'єм зразка за даної вологості W .



Механічні властивості деревини найбільш високі під час дії навантаження вздовж волокон, а у площині поперек волокон вони різко понижуються. Під час збільшення вологості до межі гігроскопічності $W_{i\alpha}$ показники міцності зменшуються в 1,5 – 2 рази. Дослідження деревини з метою визначення показників фізико-механічних та технологічних властивостей проводять на малих чистих (без пороків – сучків, гнилі, коренів тощо) зразках. Всі показники приводять до єдиної вологості, яка становить $W = 12\%$.

У даній лабораторній роботі вологість деревини вимірюють за допомогою електронного вологоміра ЕВ-2К, який призначений для вимірювання вологості пиломатеріалів, заготовок деталей та виробів з хімічно необробленої деревини сосни, берези, дуба, бука та ялин. Принцип дії вологоміра ЕВ-2К оснований на непрямому методі вимірювання залежності електричного опору деревини від вологості. Він являє собою переносний дводіапазонний вимірювач опору із спеціальним датчиком, голки якого встромляють безпосередньо у зразок.

Діапазон вимірювання вологості деревини становить від 7 до 60%. Перший діапазон вимірювання вологості – від 7% до 22%; другий – від 22% до 60%. На першому діапазоні вимірювання прилад виконаний за схемою лампового омметра (рис. 17.2). Опір деревини R_x , резистори R_1 та R_2 утворюють дільник, напруга на виході якого вимірюється ламповим вольтметром. До виходу підсилювача включений амперметр на 50 мА, шкала якого використовується як показник вологості деревини.

На другому діапазоні вологомір ЕВ-2К виконаний за схемою послідовного магнітоелектричного омметра, який живиться від дільника напруги, що складається з резисторів R_7 та R_8 (рис. 17.3). Шкала вологоміра градуйована в процентах вологості по деревині сосни. Для інших порід деревини додається перевідна таблиця 17.2.

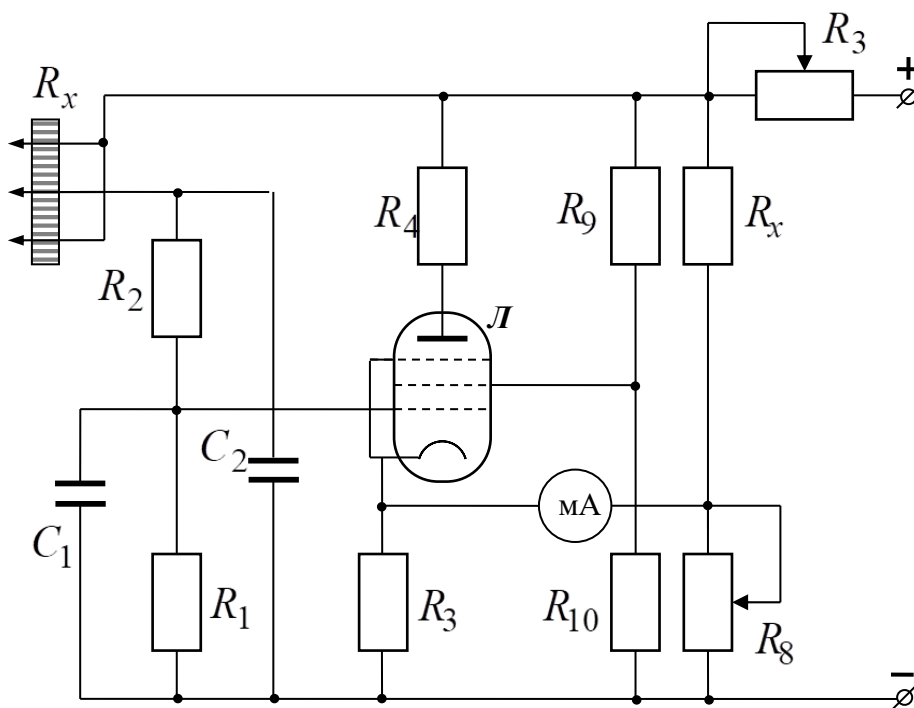


Рис. 17.2

На рис. 17.3 подана зовнішня панель вологоміра ЕВ-2К.

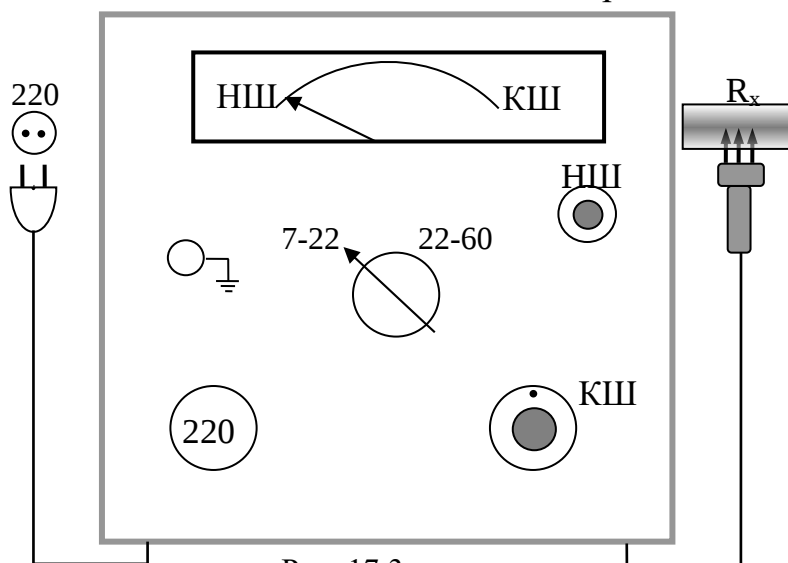


Рис. 17.3

Хід роботи

1. Підготувати прилад до роботи.
 - 1.1. Встановити прилад ЕВ-2К в горизонтальне положення та приєднати заземлення до клема «земля».
 - 1.2. Включити прилад у коло з напругою, вказаною на приладі та прогріти його протягом 15 хв.

- 1.3. Вибрати необхідний діапазон вимірювання приладу та встановити перемикач діапазонів Д у потрібне положення.
- 1.4. Встановити стрілку приладу на відмітку „НШ” шкали, обертаючи ручку резистора «установка НШ» (тільки при роботі на першому діапазоні).
- 1.5. Натиснути кнопку «КШ» та встановити стрілку приладу на відмітку «КШ» шкали, обертаючи ручку резистора «установка КШ».
2. Проведення вимірювання.
 - 2.1. Ввести голки датчика вздовж волокон деревини.
 - 2.2. Після заспокоєння стрілки приладу, але не пізніше ніж через 10 с після введення голок датчика, зробити відлік показів приладу N_2 . Вимірювання повторити не менше ніж три рази.
 - 2.3. Перевести покази приладу у значення вологості деревини даної породи за перевідною таблицею, яка знаходиться на кришці приладу ЕВ-2К.
 - 2.4. Для значень вологості, не вказаних у таблиці, розрахувати вологість за формулою:

$$W_2 = W_1 \frac{N_2}{N_1},$$

де N_2 – покази приладу; N_1 – найближче до N_2 табличне значення показів приладу; W_1 – табличне значення вологості деревини даної породи, що відповідає показам приладу N_1 .

- 2.5. Повторити пп.2.1 – 2.4 для інших порід деревини.
- 2.6. Виміряти геометричні розміри зразків та розрахувати їх об’єм V_w .
- 2.7. Провести зважування зразків та визначити масу вологої деревини m_w .
- 2.8. За формулою (17.1) розрахувати густину деревини ρ_w за даної вологості.
- 2.9. Всі результати вимірювань та розрахунків занести до таблиці 2.5.1.

Таблиця 17.1

Порода деревини	N_2	$N_{2\text{п\ddot{a}o}}$	W_2 ,%	N_1	W_1 ,%	V_w ,м ³	m_w ,кг	ρ_w ,кг/м ³
сосна								
ялина								
береза								
дуб, бук								

Таблиця 17.2

Покази приладу, %	Вологість деревини			
	сосна	ялина	береза	дуб та бук
7	7	7,7	6,6	5,7
8	8	8,8	7,6	6,7
9	9	10,0	8,6	7,6
10	10	11,1	9,6	8,5
11	11	12,3	10,5	9,4
12	12	13,4	11,6	10,2
14	14	15,7	13,5	12,0
16	16	18,0	15,4	13,9
18	18	20,2	17,4	15,7
20	20	22,5	19,4	17,5
22	22	24,7	21,3	19,3
24	24	27,0	23,2	21,0
26	26	29,3	25,2	22,9
28	28	31,8	27,1	24,7
30	30	34,0	29,2	27,0
35	35	39,5	33,0	31,0
40	40	45,2	39,0	36,0
50	50	56,0	49,0	45,0
60	60	69,2	59,0	55,0

Контрольні запитання

1. Що таке деревина та який її склад?
2. Які основні фізико-механічні властивості деревини ви знаєте?
3. У чому полягає анізотропія властивостей деревини?
4. Що таке вологість деревини?
5. Що таке межа гігроскопічності деревини та що вона визначає?
6. Що таке усушка та набухання?
7. Як знайти густину деревини за даного значення вологості?
8. Який метод вимірювання вологості застосовується в даній роботі?
9. Наведіть приклади застосування деревини у народному господарстві.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 18. ВИЗНАЧЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ ДОМІШОК В ГАЗАХ І РІДИНАХ З ДОПОМОГОЮ КІЛЬКІСНОГО КОЛОРИМЕТРИЧНОГО АНАЛІЗУ

Мета роботи – вивчити закони поглинання світла, визначити концентрації домішок деяких речовин у розчині та газі.

Вказівки до виконання лабораторної роботи

Для виконання лабораторної роботи необхідно вивчити такий теоретичний матеріал: закон поглинання світла – закон Бугера та Бугера – Бера. [1, т.3, §§ 6.5; 2, §§ 187; 4, т.2, §§ 345]

За допомогою абсорбційного аналізу, заснованого на законах поглинання світла, проводять кількісний аналіз під час дослідження складу речовини: кількісне визначення його компонентів, визначення ступеня його чистоти та ін. Яке б не було завдання дослідження, в цих методах завжди використовується фізична властивість речовини – її здатність поглинати світлове випромінювання з певною довжиною хвилі.

Закони поглинання і випромінювання, що з ними зустрічається аналітик у випадку розчину, дають співвідношення між величиною поглинання і кількістю речовини, яка поглинає (дивись лабораторну роботу № 11). Завдяки дослідному визначенню поглинання в однорідних прозорих твердих тілах, рідинах та газах встановлено два закони, які дають найбільш важливі для абсорбційного аналізу співвідношення.

Перший з цих законів (закон Бугера) дає зв'язок між поглинаючою здатністю та товщиною шару поглинаючої речовини. Нехай I_1 – величина енергії випромінювання, що падає на першу поверхню зразка; I_0 – величина енергії, що входить у зразок; I – величина енергії, яка падає на другу поверхню; I_2 – величина енергії, що виходить із зразка. Тоді T – пропускання зразка:

$$T = \frac{I_1}{I_2} \cdot 100\%.$$

Внутрішнє пропускання зразка: $T_i = I/I_0$.

За рахунок втрат на відбивання світла під час переходу з одного середовища в інше й абсорбційної здатності самої кювети завжди $I_1 > I_0$, а $I > I_2$, однак ці втрати енергії приладу завжди компенсуються.

Тоді зменшення інтенсивності dI під час проходження шару товщиною dx пропорційне інтенсивності I світла на глибині x :

$$-\frac{dI}{dx} = kI \quad \text{або} \quad -\frac{dI}{I} = kdx;$$

інтегруючи від I_0 до I , та від 0 до d , одержуємо закон Бугера:

$$\frac{I}{I_0} = T_i = e^{-kd}, \quad (18.1)$$

де k – коефіцієнт поглинання, який змінюється залежно від довжини хвилі падаючого світла.

Крім того, вводять поняття оптичної густини речовини D , яка пропорційна коефіцієнту поглинання:

$$D = \ln \frac{I_0}{I} = kd.$$

Закон Бера пов'язує між собою пропускання речовини й концентрацію поглинаючої речовини в розчині. Якщо c – концентрація, то пропускання T_i для даної товщини шару буде дорівнювати:

$$T_i = t^c,$$

де t – пропускання шару розчину тієї ж товщини з одиничною концентрацією.

Запишемо об'єднаний закон Бугера–Бера, враховуючи, що $T_i = I/I_0$:

$$T_i = e^{-kcd} \quad \text{або} \quad I = I_0 e^{-kcd}.$$

Звідки концентрацію знаходимо як:

$$c = \frac{D}{kd}.$$

Відхилення від об'єданого закону Бугера–Бера в будь-якій системі можливе за рахунок невиконання закону Бера. Встановлено, що відхилення від закону Бера можна приписати хімічним процесам, що протікають у розчинах. Такі відхилення мають місце, коли поглинаюча речовина дисоціює у розчині або ж утворює сполуку з розчинником. Відхилення від закону Бера спостерігають тоді, коли поглинаючі частинки (атоми, іони, молекули) впливають одна на одну. Із зміною концентрації може змінюватись і взаємодія між молекулами розчинника та поглинаючої речовини.

Для визначення концентрації домішок у розчині та газі використовують фотометр TWO GELL. Принципова схема такого фотометра зображена на рисунку 18.1.

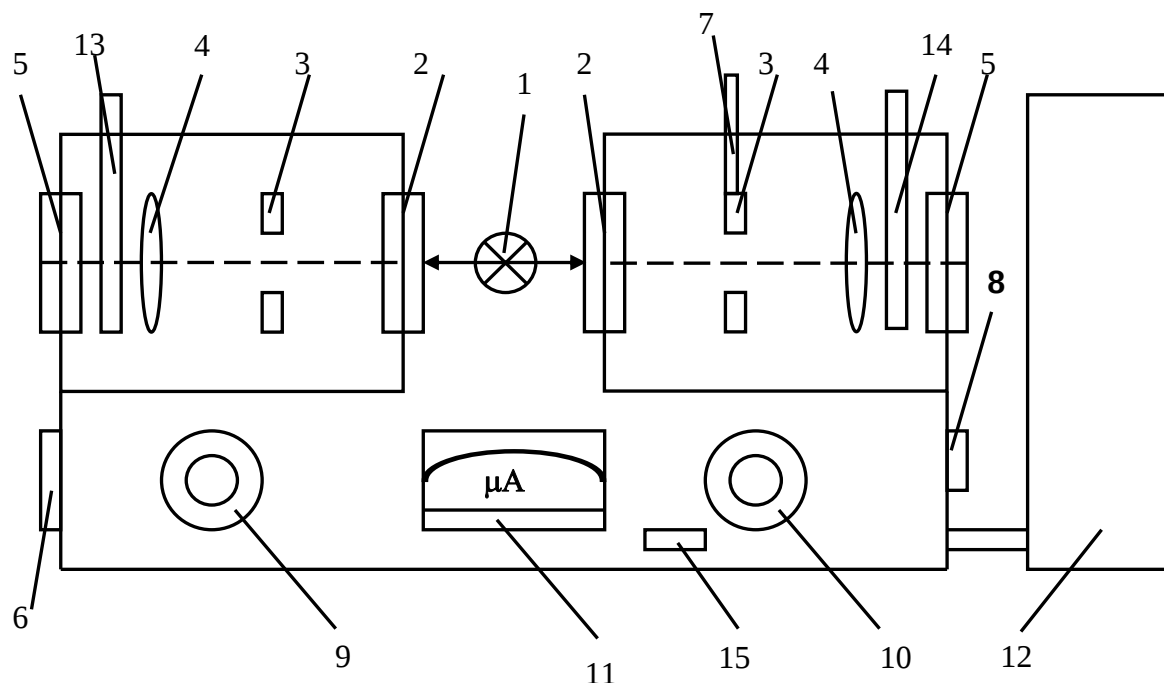


Рис. 18.1:

1 – освітлювальна лампочка; **2** – світлофільтри; **3** – діафрагми; **4** – лінзи; **5** – фотоелементи; **6** – регулятор лівої діафрагми; **7** – регулятор правої діафрагми; **8** – затвор правого плеча; **9** – потенціометр точного регулювання лівого плеча; **10** – потенціометр точного регулювання правого плеча; **11** – мікроамперметр; **12** – стабілізатор напруги; **13** – ліва кювета; **14** – права кювета; **15** – вмикач фотометра.

Принцип роботи фотометра TWO GELL полягає в порівнянні світлових потоків лівого і правого плеча. Світловий потік від лампи **1** розділяється на два потоки, лівий і правий. Проходячи в кожному плечі через системи: світлофільтрів, діафрагм та лінз світловий потік попадає на фотоелемент. Фотострум кожного плеча реєструється мікроамперметром, де відбувається їх порівняння. Якщо ці струми рівні, то мікроамперметр показує нуль. Однакового фотоструму від правого і лівого плеча досягають регулюванням світлових потоків за допомогою діафрагм **3** регуляторами **6** і **7**. Більш точне регулювання досягається потенціометрами **9** та **10**. Якщо в лівому плечі поставити кювету з розчином, а в правому тільки кювети з розчинником, то

фотострум буде не скомпенсованим: мікроамперметр покаже різницю струмів у плечах. Мікроамперметр має два типи шкал: перша в мікроамперах, друга – у відсотках поглинання світлового потоку.

Для визначення концентрації домішок у розчині необхідно визначити покази мікроамперметра в μA для розчинів з відомою концентрацією для ідентичних кювет однакової товщини d і побудувати графік $I = f(c)$. Потім знайти покази мікроамперметра для розчину невідомої концентрації і за графіком знайти невідому концентрацію домішки.

Хід роботи

1. Вставити в ліве і праве плече фотометра жовті світлофільтри.
2. Ввімкнути стабілізатор у мережу, а потім ввімкнути освітлювальну лампу. Після цього ввімкнути фотометр (вимикач 15).
3. Регуляторами діафрагм 6 і 7 встановити стрілку мікроамперметра на нуль. Вимкнути фотометр.
4. Поставити в праве плече кювету з розчинником, а в ліве – кювету з відомою концентрацією розчину. Ввімкнути фотометр. Зробити відлік і записати в таблицю 18.1. Повторити це для всіх відомих концентрацій.
5. Побудувати графік $I = f(c)$.
6. Визначити покази мікроамперметра для невідомої концентрації домішки. За графіком $I = f(c)$ визначити невідому концентрацію домішки.

Таблиця 18.1

№ пор.	$I, (\mu A)$	$c, \%$	$c_x, \%$

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони поглинання світла.
2. Який принцип будови та роботи фотометра?
3. Яка роль світлофільтрів у колориметричному аналізі?
4. Що таке оптична густина речовини?
5. Які механізми ослаблення світла при в середовищі?
6. Привести основні діапазони електромагнітних хвиль.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Основна

1. **Загальний курс фізики:** Навч. посібник для студ. вищих техн. і пед. закладів освіти. В 3 т. /За ред. І.М.Кучерука. – К.: Техніка, 1999.
2. **Трофимова Т.И.** Курс фізики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1990.
3. **Чолпан П.П.** Фізика: Підручник. – К.: Вища шк., 2003.
4. **Савельев И.В.** Курс фізики: Учеб.: В 3-х т. – М.: Наука, 1977.
5. **Ландсберг Г.С.** Оптика. – М.: Наука, 1976. – 926 с.
6. **Азнаурян І.О.** Фізика та фізичні методи дослідження: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2008. – 250 с.
7. **Фізика в будівництві:** Навчальний посібник / В.І. Клапченко, І.О. Азнаурян, Н.Б. Бурдейна, В.Б. Долгошей, С.М. Пономаренко. – К.: КНУБА, 2011. – 252 с.
8. **Фізика. Лабораторний практикум:** Навчальний посібник. – 2-ге вид., випр. і доп. /В.І. Клапченко, В.І. Тарасевич, І.О. Азнаурян та ін. /За ред. В.І.Клапченка. – К.: КНУБА, 2006. - 228 с.
9. **Фізика. Лабораторний практикум:** Навчальний посібник /За ред. В.І.Клапченка. – К.: КНУБА, 2002.
10. **Волькенштейн В.С.** Сборник задач по общему курсу фізики: Учеб. пособие. – М.: Наука, 1985.
11. **Иродов И.Е.** Задачи по общей физике: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во “Лань”, 2001.
12. **Розрахунково-графічні завдання до самостійної роботи з фізики:** Для студентів усіх спеціальностей і форм навчання КНУБА. За ред. В.І.Клапченка. – К.: КНУБА, 2002.
13. **Фізика. Практичний курс: Навчальний посібник для студентів заочної форми навчання всіх спеціальностей** /Автори: В.І.Клапченко, Г.Д.Потапенко, І.О.Азнаурян та ін. – К.: КНУБА, 2005, - 256 с.
14. **Фізика:** Методичні рекомендації до спецкурсів “Опричні прилади та вимірювання в геодезії”, “Основи фізики навколишнього середовища” /Уклад.: В.І. Клапченко, Г.Д. Потапенко, Ю.І. Григораш і ін. – К.: КНУБА, 2003. – 112 с.

Допоміжна та спеціальна

15. **Детлаф А.А., Яворский Б.М.** Курс фізики: Учеб. пособие для втузов. – М.: Высш. шк., 1989.

16. *Загальний курс фізики: Збірник задач* /І.П.Гаркуша, І.Т.Горбачу, В.П.Курінний та ін.; За ред. І.П.Гаркуші. – К.: Техніка, 2003.
17. *Трофимова Т.И.* Сборник задач по курсу физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1991.
18. *Загальна фізика: Лабораторний практикум:* Навч. посібник /За ред. І.Т.Горбачука. – К.: Вища шк., 1992.
19. *Денисов А.Е., Потапенко Г.Д.* Физика в прикладной геодезии: Учеб. пособие. – К.: Вища шк., 1991.
20. *Хмельюк К.Д., Цициліано Д.Д.* Фізика атома і твердого тіла: Навч. Посібник для студентів техн. вузів. – К.: Вища шк., 1974.
21. *Фізика з використанням обчислювальної техніки:* Практичний курс /В.М.Казанський, В.І.Клапченко, І.Д.Кошелева, інш. – К.: Либідь, 1993.
22. *Фізичні основи виробництва: Методичні вказівки до вивчення курсу* /Укладачі: Г.Д.Потапенко, Д.В.Гамов, І.О.Кузнецова. – К.: КНУБА, 2001.
23. *Методичні рекомендації та завдання до самостійної роботи з фізики* для студентів усіх спеціальностей і форм навчання КНУБА. В 2 ч /Укладачі: В.І.Клапченко, В.О.Клименка, Г.Д.Потапенко та інш. – К.: КНУБА, 2000.
24. *Кордун Г.Г.* Історія фізики. Короткий курс. – К.: Вища шк., 1974.

14. Інформаційні ресурси

<http://library.knuba.edu.ua/>

ДОДАТКИ

Додаток 1

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кафедра _____

ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ №1

з дисципліни: _____
(назва дисципліни)

(назва роботи)

Виконав студент: _____
(Спеціальність, номер групи)

(Прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник роботи: _____
(Посада, прізвище, ініціали)

Варіант №

Номери задач

--	--	--	--	--	--	--	--

ДОВІДКОВІ ТАБЛИЦІ
Основні одиниці Міжнародної системи (СІ)

Довжина	Маса	Час	Сила електричного струму	Термодинамічна температура	Кількість речовини	Сила світла
Метр, м	Кілограм, кг	Секунда, с	Ампер, А	Кельвін, К	Моль, моль	Кандела, Кд

Основні фізичні сталі

Назва фізичної сталої	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	γ	$6,67 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Число Авогадро	N_A	$6,025 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	R	$8,31 \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Фарадея	F	$9,65 \cdot 10^7 \text{ Кл/кг-екв}$
Стала закону Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-28} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
Стала закону зміщення Віна	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Стала Планка	h	$6,625 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд електрона	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Швидкість світла у вакуумі	C	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.}$
Маса спокою протона	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00759 \text{ а.о.м.}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00899 \text{ а.о.м.}$
Стала Рідберга (для атома водню)	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Енергія іонізації атома водню	W_i	$2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Деякі співвідношення між фізичними величинами

Назва одиниці виміру	Значення в СІ
Температура градусів за шкалою Цельсія ($t^{\circ}\text{C}$)	$T=t^{\circ}\text{C} + 273,15 \text{ K}$
Об'єм (1 літр)	10^{-3} м^3
Один мм ртутного стовпа (1 мм рт. ст.)	$133,322 \text{ Н/м}^2$
Оптична сила 1 ДПТР (діоптрія)	1 м^{-1}
Один електрон-вольт (1eВ)	$1,6021892 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
Атомна одиниця маси, (а.о.м.)	$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Один градус кута на площині (1°)	$\pi/180 \text{ радіан}$
Одна калорія (1 кал)	$4,19 \text{ Дж}$

Деякі позасистемні величини

$1^{\circ} = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ рад}$	$1 \text{ рік} = 365 \text{ діб} = 3,11 \cdot 10^7 \text{ с}$	$\text{\AA} - \text{ангстрем} (10^{-10})$
$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па}$	$1 \text{ доба} = 86400 \text{ с}$	$1 \text{ еВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$
$1 \text{ кал} = 4,18 \text{ Дж}$	$1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	$1 \text{ Кі(кюрі)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$

Деякі співвідношення між фізичними величинами

Назва одиниці виміру	Значення в СІ
Температура за шкалою Цельсія ($t^{\circ}\text{C}$)	$T=t^{\circ}\text{C} + 273,15 \text{ K}$
Об'єм (1 літр)	10^{-3} м^3
Тиск (1 мм рт. ст.)	133 Па
Тиск (1 мм вод. ст.)	$9,81 \text{ Па}$
Потужність (1 кінська сила)	736 Вт
Динамічна в'язкість (1 пуаз)	$0,1 \text{ кг/(м}\cdot\text{с)}$
Тепловий потік (1 кал/с)	$4,19 \text{ Вт}$
Кінематична в'язкість (1 Стокс)	$10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$
Звуковий тиск (1 дин/см ²)	$0,1 \text{ Па}$
Активність ізотопу (1 Кюрі)	$3,7 \cdot 10^{10} \text{ розп/с}$
Поглинальна доза (1 рад)	10^{-2} Дж/кг
Експозиційна доза рентгенівського і гамма-випромінювання (1 Рентген)	$2,57976 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Один градус кута на площині (1°)	$\pi/180 \text{ радіан}$

Одиниці виміру відстані в астрономії та співвідношення між ними

Одиниці	а. о.	св. рік	пк	км
1 астрономічна одиниця	1	$157,9 \cdot 10^{-7}$	$4,848 \cdot 10^{-6}$	$1,496 \cdot 10^8$
1 світловий рік	63240	1	0,3069	$9,46 \cdot 10^{12}$
1 парсек	206265	3,263	1	$3,086 \cdot 10^{13}$
1 кілометр	$6,684 \cdot 10^{-9}$	$105,7 \cdot 10^{-15}$	$324,1 \cdot 10^{-16}$	1

Деякі астрономічні величини

Середній радіус Землі	$6,37 \cdot 10^6$ м
Маса Землі	$5,96 \cdot 10^{24}$ кг
Середня густина Землі	$5,52 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Землі навколо осі	1 доба = 24 год
Радіус Сонця	$6,95 \cdot 10^8$ м
Маса Сонця	$1,97 \cdot 10^{30}$ кг
Середня густина Сонця	$1,41 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Сонця навколо осі	25,4 д
Ефективна температура поверхні Сонця	5788 К
Радіус Місяця	$1,74 \cdot 10^6$ м
Маса Місяця	$7,35 \cdot 10^{22}$ кг
Середня густина Місяця	$3,30 \cdot 10^3$ кг/м ³
Період обертання Місяця навколо осі	27,3 д
Середня відстань між центрами Місяця та Землі	$3,84 \cdot 10^8$ м
Середня відстань між центрами Землі та Сонця	$1,5 \cdot 10^{11}$ м
Період обертання Місяця навколо Землі	27 д 7 год 43 хв

Основні кольори видимого спектра та відповідні до них довжини хвиль λ світлових променів

Колір	Довжина хвилі λ , нм
Червоний	760 – 620
Оранжевий	620 – 590
Жовтий	590 – 560
Зелений	560 – 500
Голубий	500 – 480
Синій	480 – 450
Фіолетовий	450 – 380

Дані про Землю

Об'єм	$1083219 \cdot 10^6 \text{ км}^3$
Маса	$5,978 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радіус: середній; екваторіальний; полярний	 6371032 м 6378160 м 6356777 м
Площа поверхні: Землі; суші; води	 510069000 км^2 148940148 км^2 361128852 км^2
Середня густина: Землі; земної кори	 5518^* кг/м^3 2800 кг/м^3
Довжина окружності: меридіана; екватора	 40008550 м 40075696 м
Найбільша висота над рівнем океану (гора Джомолунгма, Гімалаї)	8848 м
Найбільша глибина океану (Маріанська западина, Тихий океан)	11022 м
Швидкість (середня): Руху Землі вздовж орбіти; Лінійна точок, які лежать на екваторі Землі при її обертанні навколо власної осі	 $29,76 \text{ км/с}$ $465,12 \text{ м/с}$
Прискорення вільного падіння: на екваторі; на полюсі; на широті 45° ; нормальне (стандартне)	 $9,78049 \text{ м/с}^2$ $9,83235 \text{ м/с}^2$ $9,80616 \text{ м/с}^2$ $9,80665 \text{ м/с}^2$
Маса повітря, яка оточує Землю	$5,158 \cdot 10^{18} \text{ кг}$
Вік Землі	$\approx 4,5 \cdot 10^9$ років

* Перше визначення середньої густини Землі належить Ісааку Ньютону (1736р.) – 5000-6000 кг/м³.

Фізичні параметри внутрішніх шарів Землі

Глибина, км	Температура, К	Густина, кг/м ³	Прискорення вільного падіння, м/с ²	Тиск, ГПа
0	287	2600	9,81	0
10	460	2700-3000	9,82	0,3
33	700	3400	9,83	0,9
100	1200	3500	9,86	3
600	2500	4100	9,95	20
1000	3000	4500	9,90	40
2000	3800	5100-5500	9,86	90
2900	4300	9500	10,40	136
3000	4500	9700	10,20	140
4500	5800	11200-11700	6,90	280
5000	6000	16000	6,00	320
5500	6200	16500	4,10	350
6000	6300	17000	1,70	370
6371	6400	17300	0	380

Хімічний склад Землі

Землі в цілому		Атмосфера, гідросфера і літосфера	
елемент	масова частка, %	елемент	масова частка, %
Залізо	39,76	Кисень	49,42
Кисень	27,71	Кремній	25,75
Кремній	14,53	Алюміній	7,51
Магній	8,69	Залізо	4,70
Нікель	3,46	Кальцій	3,39
Кальцій	2,32	Натрій	2,64
Алюміній	1,72	Калій	2,40
Сірка	0,64	Магній	1,94
Натрій	0,38	Водень	0,88
Хром	0,20	Титан	0,58
Калій	0,14	Хлор	0,19
Фосфор	0,11	Фосфор	0,12
Марганець	0,07	Марганець	0,09
Вуглець	0,04	Вуглець	0,09
Титан	0,02	Сірка	0,06
Інші елементи	0,14	Інші елементи	0,26

Дані про Сонце

Радіус	696000 км (≈ 109 земних радіусів)
Площа поверхні	$608,7 \cdot 10^6$ км ²
Об'єм	$1,412 \cdot 10^6$ км ³ (1303800 об'ємів Землі)
Маса*	$1,99 \cdot 10^{30}$ кг (332958 мас Землі)
Густина: середня; в центрі	1410 кг/м ³ ≈ 98000 кг/м ³
Температура: поверхні; в центрі	≈ 6000 °C $\approx 15 \cdot 10^6$ °C
Відстань від Землі: найменша (у січні); найбільша (у червні); середня	$147,1 \cdot 10^6$ км $152,1 \cdot 10^6$ км $149,6 \cdot 10^6$ км
Прискорення вільного падіння на поверхні	$273,8$ м/с ²
Швидкість руху відносно зірок	$19,4$ км/с
Яскравість центра диска позаземної атмосфери	$2,54 \cdot 10^9$ Кд/м ²
Освітленість поверхні Землі в ясний полудень	10^5 лк
Сила світла	$3,02 \cdot 10^{27}$ Кд
Потужність загального випромінювання	$3,74 \cdot 10^{21}$ кВт
Сонячна стала**	$1,39 \cdot 10^3$ Вт/м ²

* Маса Сонця складає 99,87% маси всієї Сонячної системи.

** Сонячна стала – це кількість енергії, яку приносять сонячні промені за 1с на площу в 1 м², розташовану поза земною атмосферою перпендикулярно променям на середній відстані Землі від Сонця.

Властивості деяких твердих тіл

Речовина	Густина, 10^3 кг/м^3	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$	Питома теплоємність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	Питома теплота плавлення, 10^3 Дж/кг	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, 10^{-5} K^{-1}
Алюміній	2,60	659	896	322	2,3
Залізо	7,90	1530	500	272	1,2
Латунь	8,40	900	386	-	1,9
Лід	0,90	0	2100	335	-
Мідь	8,60	1100	395	176	1,6
Олово	7,20	232	230	58,6	2,7
Платина	21,40	1770	117	113	0,89
Свинець	11,30	327	126	22,6	2,9
Срібло	10,50	960	234	88	1,9
Сталь	7,70	1300	460	-	1,06
Цинк	7,00	420	391	117	2,9
Корок	0,20	-	2050	-	-
Барій	3,50				
Ванадій	6,02				
Вісмут	9,80				
Літій	0,53				
Нікель	8,90				
Цезій	1,90				

Властивості деяких рідин

Речовина	Густина, 10^3 кг/м^3	Питома теплоємність, $10^3 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$	Коефіцієнт поверхневого натягу, 10^{-3} Н/м
Вода (за 4°C)	1,00	4,19	73
Вода (за 0°C)	-	-	75,6
Вода (за 100°C)	-	-	58,8
Мильна вода	-	-	40

Бензол	0,88	1,72	30
Гліцерин	1,26	2,43	64
Касторове масло	0,90	1,80	35
Керосин	0,80	2,14	30
Ртуть	13,6	0,138	500
Спирт	0,79	2,51	20
Бензин	0,71÷0,75	2,05	
Гас	0,79÷0,82	2,09	24
Ацетон	0,78		
Сірководень	1,26		
Скипидар	0,86		
Нафта	0,73÷0,94	1,67÷2,09	30
Паливо дизельне	0,86		
Масло машинне	0,90÷0,92	1,67	
Мазут	0,89÷1,00		

Примітка. Значення характеристик рідин подано за нормального атмосферного тиску і температури 20 °С (якщо не вказано іншої температури). Значення коефіцієнтів поверхневого натягу вказано на межі рідини з повітрям.

Питома теплоємність деяких речовин і матеріалів, Дж/(кгК)

Повітря	1000	Латунь	386
Водяна пара	2000	Лід	2100
Вода	4190	Дуб	2400
Цегла	880	Ялина, сосна	2700
Шифер	750	Бетон	880
Скло віконне	670	Камінь	840
Чавун	540	Плутоній $^{239}_{94}\text{Pu}$	100

Густина газів (за нормальних умов), кг/м³

Гідроген	0,09	Гелій	0,18
Повітря (за 0 °С)	1,293	Оксиген	1,43
Метан CH ₄	0,717	Азот	1,25
Вуглекислий газ	1,977	Хлор	3,21
СО (за 0 °С)	1,250	Аміак	0,77

Густина (середня насипна) деяких будівельних матеріалів, кг/м³

Гравій	1500...1700	Кам'яне вугілля	800...850
Земля волога	1900...2000	Пісок сухий	1200...1650

Земля суха	1400...1600	Тирса	150...200
------------	-------------	-------	-----------

Густина деяких речовин і матеріалів, кг/м³

Дерево сухе:		Кам'яне вугілля	1200...1500
береза	600...800	Мармур	2600...2800
дуб	700...1000	Цегла	1400...1800
клен	500...800	Смола	1070
липа	300...600	Скло віконне	2400...2700
сосна	400...700	Шифер	2800
тополя	300...500	Гума	910...1400
ялина	400...700	Чавун	7000...7800
ясен	600...800	Золото	19320
Асфальт	1100...2800	Натрій	968
Бетон	1800...2400	Нікель	8900
Граніт	2500...2800	Ніхром	8100...8400
Графіт	2100...2520	Уран	19040
Крейда	1800...2600	Хром	7190

Примітка. Значення густини речовин подано для температури 20 °С (якщо не вказано іншої температури).

Пружні властивості деяких твердих тіл

Речовина	Межа міцності, 10 ⁸ Н/м ²	Модуль Юнга, 10 ¹⁰ Н/м ²
Алюміній	1,1	6,90
Залізо	2,94	19,60
Мідь	2,45	11,80
Свинець	0,2	1,57
Срібло	2,9	7,40
Сталь	7,85	21,60

Модуль Юнга деяких матеріалів, ГПа

Дерево (вздовж волокон):		Сталь інструментальна (вуглецева)	210...280
сосна	12	Сталь легована	210...220
дуб	14	Мідь	110

береза	18	Свинець	17
Бетон	10...30	Хром	240...250
Цегляна кладка	3	Цинк	80
Скло	50...80	Чавун сірий	115...150
Залізо	200...210	Манганін	124

Ефективний діаметр молекул, 10^{-10} м

Азот	3,0·	Гелій	1,9·
Водень	2,3·	Кисень	2,7·

Границя міцності деяких матеріалів, ГПа

Цегла	0,005...0,01	Залізо	0,17...0,21
Бетон	0,02...0,048	Золото	0,14
Скло	0,06...0,12	Олово	0,027
Сталь вуглецева	0,344...0,47	Свинець	0,015
Сталь легована	0,8...1,0	Срібло	0,14
Трос сталевий	0,98	Цинк	0,11
Алюміній	0,05...0,11	Чавун сірий	0,25...0,55

Примітка. Для деяких матеріалів наведено орієнтовні значення границі міцності.

Питома теплота згоряння деяких видів палива, МДж/кг

Дрова	8,4...11	Дизельне паливо	42,7
Вугілля деревесне	31,5...34,4	Нафта	43,5...46
Вугілля кам'яне	26,5...27,5	Спирт	27,0
Антрацит	26,8...31,4	Газ природний	41...49
Бензин	44...47	Метан	50,0
Гас	44...46		

Питома теплота плавлення і температура плавлення деяких речовин, металів та сплавів (за нормального атмосферного тиску)

Речовина, метал чи сплав	Питома теплота плавлення, кДж/кг	Температура плавлення, °С
Лід	330	0,00
Алюміній	393	660,4

Латунь	—	900...1000
Мідь	176	1084,5
Олово	58,6	231,9
Платина	113	1772
Свинець	24,3	327,4
Сталь	84	1300...1500
Залізо	270	1539
Чавун	96...140	1100...1300
Цинк	112,2	419,5

Температурний коефіцієнт лінійного розширення деяких речовин та матеріалів, 10^{-6} K^{-1}

Лід (в інтервалі температур від -20 до $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	51	Скло віконне (в інтервалі температур від $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ до $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	10
Бетон (за $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	10...14	Шифер (за $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	10
Граніт (за $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	8	Сталь вуглецева	10...17
Цегла (за $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	3...9	Чавун (в інтервалі температур від 20 до $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$)	9...11
Деревина (в інтервалі температур від 2 до $34 \text{ }^{\circ}\text{C}$):		Латунь	17...19
дуб уздовж волокон	4,9	Мідь	17
впоперек волокон	4,4	Срібло	20
сосна уздовж волокон	5,4	Залізо	12
впоперек волокон	34	Алюміній	2,4

Питома теплота пароутворення води за різних температур

$t \text{ }^{\circ}\text{C}$	0	50	100	200
r , 10^5 Дж/кг	24,9	23,8	22,6	19,4

Критичні значення температури та тиску для деяких речовин

Речовина	T_k, K	$P_k, 10^6$ Па	Речовина	T_k, K	$P_k, 10^6$ Па
Водяна пара	647	22,0	Азот	126	3,40
Вуглекислий газ	304	7,38	Гідроген	33	1,30
Оксиген	154	5,07	Гелій	5,2	0,23
Аргон	151	4,87			

Теплопровідність деяких твердих тіл, Вт/(мК)

Дерево	0,175	Повість	0,046
Цегла	0,55...0,84	Пісок сухий	0,325
Алюміній	210	Пробка	0,050
Залізо	58,7	Накип (на стінках котла)	0,60
Мідь	390	Ебоніт	0,174
Войлок	0,046	Кварц плавлений	1,37

Діелектрична проникність деяких речовин

Віск	7,8	Парафін	1,9...2,2
Вода	81	Папір парафіновий	2,2
Гас	2	Слюда	6
Ебоніт	2,6...3,5	Скло	6,0...10,0
Масло	5	Фарфор	4,4...6,8
Ацетон	31	Масло трансформаторне	2,2

Питомий опір деяких провідників, 10^{-8} Омм

Алюміній	2,8	Свинець	22,0
Срібло	1,6	Залізо	8,7
Золото	2,4	Сталь	14,0
Мідь	1,7	Вольфрам	5,5
Латунь	7,0...8,0	Цинк	6,1
Олово	12,0	Ніхром	10,0
Ртуть	94,0	Графіт	39,0

Рухливість іонів в газах, $10^{-4} \text{ м}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$

Газ	Позитивні іони	Негативні іони
Азот	1,27·	1,81
Водень	5,4	7,4·
Повітря	1,4	1,9·

Робота виходу електронів з металів

Метал	A, Дж	A, eB
Калій	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Літій	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубідій	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Срібло	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезій	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

Коефіцієнти заломлення деяких речовин*

Рідини та гази		Тверді тіла	
Повітря	1,000292	Алмаз	2,42
Вуглекислий газ	1,000450	Лід	1,31
Вода	1,33	Кварц	1,54
Скипидар	1,47	Скло оптичне (легкий крон)	1,51
Гліцерин	1,47	Скло оптичне (важкий флінт)	1,77
Спирт етиловий	1,36	Слюда	1,56 - 1,60
Бензин	1,38 - 1,41	Янтар	1,546
Олія касторова	1,48	Рубін	1,76
Олія соняшникова	1,47	Цукор	1,56

* Дані таблиці відносяться до жовтої лінії **D** натрію ($\lambda = 589,3 \text{ нм}$).

Граничний кут повного внутрішнього відбиття

Алмаз	24°	Спирт етиловий	47°
Вода	49°	Скло	$30^{\circ} - 42^{\circ}$
Гліцерин	43°	Ефір етиловий	47°

Періоди напіврозпаду та маси атомів деяких радіоактивних ізотопів

Ізотоп	Позначення	Маса, а.о.м.	Період напіврозпаду, років
Кобальт	$^{60}_{27}\text{Co}$	58,9332	5,26 роки
Полоній	$^{210}_{84}\text{Po}$	210	138 діб
Кальцій	$^{45}_{20}\text{Ca}$	40,08	164 діб
Стронцій	$^{90}_{38}\text{Sr}$	90	28 років
Радон	$^{90}_{38}\text{Rn}$	222	3,8 діб
Радій	$^{226}_{88}\text{Rn}$	226,0254	1598 років
Цезій	$^{137}_{55}\text{Cs}$	137	29,7 років
Уран	$^{235}_{92}\text{U}$	235,04393	$7,1 \cdot 10^8$ років
Уран	$^{238}_{92}\text{U}$	238	$4,5 \cdot 10^8$ років
Плутоній	$^{239}_{94}\text{Pu}$	239	$2,44 \cdot 10^4$ років

Маса і енергія спокою деяких частинок

Частинка	m_0		E_0	
	кг	а.о.м.	Дж	MeV
Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α -Частинка	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральний π -мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

Маса деяких нуклідів, а.о.м.

Нуклід	Маса	Нуклід	Маса	Нуклід	Маса
${}^1_1\text{H}^1$	1,00783	${}^9_4\text{Be}^9$	9,01218	${}^{30}_{14}\text{Si}^{30}$	29,97377
${}^2_1\text{H}^2$	2,01410	${}^{10}_5\text{B}^{10}$	10,01294	${}^{40}_{20}\text{Ca}^{40}$	39,96257
${}^3_1\text{H}^3$	3,01605	${}^{12}_6\text{C}^{12}$	12,0	${}^{56}_{27}\text{Co}^{56}$	55,95769
${}^3_2\text{He}^3$	3,01669	${}^{13}_7\text{N}^{13}$	13,00987	${}^{63}_{29}\text{Cu}^{63}$	62,94962
${}^4_2\text{He}^4$	4,00388	${}^{14}_7\text{N}^{14}$	14,00752	${}^{113}_{48}\text{Cd}^{113}$	112,9420
${}^6_3\text{Li}^6$	6,01703	${}^{17}_8\text{O}^{17}$	17,00453	${}^{200}_{50}\text{Hg}^{200}$	200,0280
${}^7_3\text{Li}^7$	7,01823	${}^{23}_{12}\text{Mg}^{23}$	23,00145	${}^{235}_{92}\text{U}^{235}$	235,1175
${}^7_4\text{Be}^7$	7,01916	${}^{24}_{12}\text{Mg}^{24}$	23,99267	${}^{238}_{92}\text{U}^{238}$	238,1237
${}^8_4\text{Be}^8$	8,00785	${}^{27}_{13}\text{Al}^{27}$	26,99010		

Енергія іонізації

Речовина	E_i , Дж	E_i , еВ
Водень	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелій	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Літій	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

Додаток 3

Десяткові префікси до назв одиниць

Е – екса (10^{18})	М – мега (10^6)	с – санти (10^{-2})	п – піко (10^{-12})
П – пета (10^{15})	к – кіло (10^3)	м – мілі (10^{-3})	ф – фемто (10^{-15})
Т – тера (10^{12})	г – гекто (10^2)	мк – мікро (10^{-6})	а – ато (10^{-18})
Г – гіга (10^9)	д – деци (10^{-1})	н – нано (10^{-9})	

Додаток 4

Грецька абетка

Α α – альфа
Β β – бета
Γ γ – гамма
Δ δ – дельта
Ε ε – епсилон
Ζ ζ – дзета
Η η – ета
Θ θ – тхета

Ι ι – йота
Κ κ – каппа
Λ λ – ламбда
Μ μ – мю
Ν ν – ню
Ξ ξ – ксі
Ο ο – омікрон
Π π – пі

Ρ ρ – ро
Σ σ – сигма
Τ τ – тау
Φ φ – фі
Χ χ – хі
Υ υ – іпсилон
Ψ ψ – псі
Ω ω – омега

Навчальне видання

ФІЗИКА

**„ОСНОВИ ФІЗИКИ АТМОСФЕРИ ТА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА”**

Навчальний посібник

Редагування та коректура *А.О. Бакаєвої*
Комп’ютерне верстання *І. С. Черненко*

Підписано до друку 2009. Формат 60 × 84 ¹/₁₆
Ум. друк. арк. 14,65. Обл.-вид. арк. 15,75.
Тираж 150 прим. Вид. № 33-1-08. Зам. №

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mail: red-isdat@knuba.edu.ua

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі
Київського національного університету будівництва і архітектури

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб’єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.